



Juhani Narko

Moduuliratkaisut ja niiden vaikutukset sairaalahankkeissa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 21.08.2018

Valvoja: Apulaisprofessori Antti Peltokorpi

Ohjaajat: DI Kaisa Kekki, DI Ulla Talvitie

Tekijä Juhani Narko

Työn nimi Moduuliratkaisut ja niiden vaikutukset sairaalahankkeissa

Koulutusohjelma Master's Programme in Mechanical Engineering

Sivuaine Building Technology

Koodi ENG27

Työn valvoja Antti Peltokorpi

Työn ohjaajat Kaisa Kekki, Ulla Talvitie

Päivämäärä 21.08.2018

Sivumäärä 83+8

Kieli suomi

Tiivistelmä

Moni vanha sairaala ei pysty vastaamaan tiloiltaan ja teknologialtaan asiakkaidensa nykyisiin tarpeisiin, jolloin syntyy tarve rakentaa uusia sairaaloita tai laajentaa ja peruskorjata olemassa olevia. Laajennettavat sairaalat sijaitsevat usein ahtaalla kampusalueella, jolloin työmaan logistiikkaa on syytä kehittää siten, että työmaan aiheuttamia häiriöitä olemassa olevaan sairaalatoimintaan pystytään vähentämään tai välttämään kokonaan. Rakennusallalla yhä enenevissä määrin käytettävät modulaariset ratkaisut voisivat olla yksi keino vähentää työmaan aiheuttamia häiriöitä. Modulaarisuus osaltaan mahdollistaa esivalmistuksen, jossa rakennuskomponentit jalostetaan suuremmalle valmiusasteelle työmaan ulkopuolella esimerkiksi tehtaissa. Hallituissa olosuhteissa rakentamisen laatu paranee, ja työmaan ulkopuolella suoritettavat työvaiheet eivät aiheuta häiriöitä työmaalle eivätkä sen ympäristölle.

Tässä diplomityössä tutkittiin sairaalahankkeissa käyttökelpoisia moduuliratkaisuja ja niiden vaikutuksia. Työssä tutkittiin myös, miten modulaariset ratkaisut vaikuttavat työmaan logistisiin ratkaisuihin ja sairaalan toimintaan rakentamisen aikana. Tutkimusmenetelmänä käytettiin konstruktivistista monitapaustutkimusta, jossa tutkittiin viittä eri sairaalahanketta, ja tutkimusta varten suoritettiin kolmetoista teemahaastattelua.

Monitapaustutkimuksessa tunnistettiin kuusi erilaista moduulia; leikkaussali, potilaspaneeli, kylpyhuone, TATE-käytäväelementti, IV-kone sekä julkisivuelementti. Näiden hyötyjä ovat muun muassa aika- ja kustannussäästöt, logistiikan yksinkertaistuminen, selkeämmät urakkarajat, parempi materiaalitehokkuus, työergonomia, ja rakentamisen ja käytönaikainen puhtaudenhallinta. Haasteita ovat toimittajan valvonta, kallis hankintahinta, logistiset haasteet sekä vaadittu suunnitelmien tarkkuus aikaisessa vaiheessa.

Tutkimuksen tuloksena kehitetyllä viitekehyksellä voidaan arvioida moduuliratkaisujen soveltuvuutta hankkeen tavoitteiden ja logististen reunaehtojen näkökulmasta. Viitekehys selittää mekanismeja, joilla moduuleista saadaan hyötyjä. Viitekehyksessä avataan myös moduulien käytössä huomioitavia tekijöitä. Tulosten perusteella voidaan johtopäätöksenä todeta, että haastava hanke ja tiukat vaatimukset johtavat osaltaan moduuliratkaisujen käyttöön. Tämän lisäksi päätökset moduuliratkaisujen käytöstä tulisi tehdä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa

Avainsanat moduuli, sairaalarakentaminen, modulaarisuus, esivalmistaminen, logistiikka, sairaalainvestoinnit

Author Juhani Narko

Title of thesis Modular solutions and their effects in hospital construction projects

Degree programme Master's Programme in Mechanical Engineering

Minor Building Technology**Code** ENG27

Thesis supervisor Antti Peltokorpi

Thesis advisors Kaisa Kekki, Ulla Talvitie

Date 21.08.2018**Number of pages** 83+8**Language** Finnish

Abstract

Several old hospitals face challenges meeting the current requirements due to outdated facilities and technology. This has resulted in growing need to build completely new hospitals and renovate existing hospitals to today's standards. The hospital construction projects are often located in constricted areas which generates the urge to develop construction logistics in a way that minimizes the disruptions caused by the construction site.

Construction industry utilizes increasingly modular solutions, which could be one measure to reduce the disruptions caused by a construction site. Modularity in construction enables the prefabrication of components to higher degree in offsite facilities. Under controlled circumstances, not only is it possible to achieve improved quality but also the operations done in the factory do not disrupt the construction site and its environment.

The thesis studied the applicable modular solutions and their effects in hospital projects. In addition, it was studied how the modular solutions affect the logistical solutions of a construction site and the hospital operation during construction.

The research method used was constructive multiple case study research, where five hospital construction projects were examined. The method is also linked to existing theoretical background and the empirical findings were reflected to theory. Thirteen semi-structured interviews were conducted.

In the study cases, six different modular solutions were utilized; operation theatre, patient headwall, bathroom pod, MEP corridor element, ventilation unit and façade element. The benefits gained from the use of these solutions were savings in time, simplified logistics, cost savings, better working ergonomics, material efficiency and purity management during both construction and operation. The downsides were supplier control, an expensive purchase price, logistical issues, and the requirement of detailed design in the early stage of a project.

With the help of the framework developed in this thesis it can be estimated the applicability of modular solutions from projects objectives and logistical constraints perspective. The framework explains mechanisms how to achieve the potential benefits from modules. In the framework it is explained the factors required to consider. Due to the results of this thesis, it can be concluded that a demanding project and strict requirements result in higher utilization of modular solutions. It can be also concluded, that the decisions of utilizing the modular solutions should be made as early as possible.

Keywords module, hospital construction, modularity, prefabrication, logistics, construction logistics, hospital investment

Alkusanat

Tämä moduuliratkaisujen vaikutuksia tutkiva diplomityö on toteutettu osana laajempaa Healing and Modular Healthcare Facilities – tutkimushanketta. Työn valvojana on toiminut Antti Peltokorpi. Ohjaajina ovat toimineet Kaisa Kekki sekä Ulla Talvitie. Haluan kiittää kaikkia kolmea mahdollisuudesta tutkia mielenkiintoista alaa, toteuttaa tämä diplomityö, sparraamisesta ja arvokkaasta ohjauksesta.

Kiitos kaikille avuliaille, joita olen saanut haastatella tämän diplomityön tiimoilta. Nämä haastattelut ensinnäkin mahdollistivat tämän työn, ja toiseksi opettivat minulle erittäin paljon tästä alasta.

Ilman perhettä ja läheisiä ystäviä tämä työ ei olisi tullut valmiiksi. Haluan kiittää ystäviäni saamastani tsempestä. Kiitos Antille, Annelille, Jaakolle, Heikille ja erityisesti Lotalle, te olette antaneet tukenne aina, kun sitä olen tarvinnut.

Espoossa 21.8.2018

Juhani Narko

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen lähtökohdat	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset	2
1.3	Tutkimusmenetelmät	2
1.4	Työn rajaukset ja rakenne	2
2	MODUULIRAKENTAMINEN	4
2.1	Käsitteistön määrittely	4
2.1.1	Modulaarisuus	4
2.1.2	Moduuli	8
2.1.3	Esivalmistus	9
2.2	Rakennusteollisuuden modulaarisuusasteet ja moduulirakentamisen historiaa	10
2.2.1	Modulaarisuuden eri asteet rakennusteollisuudessa	10
2.2.2	Modulaarisuuden historiaa	11
2.3	Modulaarisuuden mahdollisuuksia, haasteita ja vaatimuksia	12
2.3.1	Modulaarisuuden mahdollisuudet	12
2.3.2	Modulaarisuuden haasteet	16
2.3.3	Vaatimukset modulaarisuuteen liittyen	17
3	SAIRAALAHANKKEIDEN ERITYISPIIRTEET	18
3.1	Tekniset erityispiirteet	18
3.1.1	Puhtausluokitukset ja ilmanvaihdon vaatimukset	18
3.1.2	Sairaalakaasut	19
3.1.3	Sähkövaatimukset ja säteilysuojaukset	20
3.2	Projektin erityispiirteet	21
3.2.1	Muutokset sairaalahankkeissa	21
3.2.2	Julkiset hankinnat sairaalainvestoinneissa	22
3.2.3	Sairalahankkeen eri osapuolet	24
3.2.4	Tyypilliset projektimallit sairaalahankkeissa	25
4	RAKENNUSHANKKEIDEN LOGISTIIKKA	29
4.1	Käsitteistön määrittely ja tausta	29
4.1.1	Logistiikka ja sen tavoite	29
4.1.2	Logistiikan kolme kategoriaa	29
4.2	Projektien reunaehdot logistiikalle	30
4.2.1	Lainsäädäntö ja taloudelliset reunaehdot	30
4.2.2	Fyysiset, ympäristölliset ja sosiaaliset reunaehdot	31
4.3	Materiaalin toimitus ja tuotannon ohjaustavat	31
4.3.1	Tuotannon ohjaustavat	31
4.3.2	Materiaalitoimitukset työmaalle	32
4.3.3	Toimitusten hallinta ja viestintä	33
5	KIRJALLISUUSTUTKIMUKSEN YHTEENVETO	35
6	MENETELMÄT	38
6.1	Tutkimuskohteiden valinta	38
6.2	Tiedonkeruumenetelmät	39

6.3	Analysointimenetelmät	41
7	ANALYYSI JA TULOKSET	43
7.1	Tutkimuskohteiden tuotannolliset lähtökohdat	43
7.1.1	Hanke 1	43
7.1.2	Hanke 2	43
7.1.3	Hanke 3	44
7.1.4	Hanke 4	44
7.1.5	Hanke 5	45
7.2	Moduuliratkaisujen vaikutukset – hyödyt ja haasteet	45
7.2.1	Tilamoduulit.....	45
7.2.2	Paneelit.....	48
7.2.3	Talotekniikka	50
7.2.4	Yhteenveto vaikutuksista	52
7.3	Moduuliratkaisut ja logistiikka	53
7.3.1	Logistiset haasteet	53
7.3.2	Logistiset ratkaisut	57
7.3.3	Moduuliratkaisujen yhteys logistiikkaan	59
7.3.4	Ratkaisujen ja haasteiden yhteenveto	62
7.4	Tulosten yhteenveto	63
8	VIITEKEHYS MODUULIRATKAISUJEN HYÖDYNTÄMISESTÄ SAIRAALAHANKKEESSA.....	69
9	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	71
9.1	Tutkimuksen tuottama teoreettinen tieto.....	71
9.2	Suositukset käytännön toimijoille	72
9.3	Tutkimuksen luotettavuuden arviointi ja jatkotutkimusaiheet	72
	LÄHDELUETTELO	74
	LIITTEET	83

MERKINNÄT JA LYHENTEET

	[brm ²]	bruttopinta-ala
	[hym ²]	hyötypinta-ala
ATO		Assemble To Order, Asennettu tilauksesta
BES		Betonielementtijärjestelmä
BIM		Building Information Model, Tietomalli
CAD		Computer Aided Design, Tietokoneavusteinen suunnittelu
DPS		Dynaaminen hankintajärjestelmä
ELY-keskus		Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
EoS		Economies of Scale, Mittakaavaedut
ETO		Engineer To Order, Suunniteltu tilauksesta
HS		Hankesuunnittelu
IT		Informaatioteknologia
IV		Ilmanvaihto
KVR		Kokonaisvastuurakentaminen
LS		Luonnossuunnittelu
MTO		Make To Order, Valmistettu tilauksesta
MTS		Make To Stock, Valmistettu varastoon
SBK		Suomen Betoniteollisuuden keskusjärjestö
SR		Suunnittele ja rakenna
ST		Suunnittele ja toteuta
TATE		Talotekniikka
TS		Toteutussuunnittelu
PJ		Projektinjohto
PU		Pääurakka
UPS		Uninterruptible Power Supply, Häiriötön ja katkeamaton sähkönsyöttö
VV-järjestelmä		Varavoimajärjestelmä

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen lähtökohdat

Moni vanha sairaala ei pysty vastaamaan asiakkaidensa nykyisiin tarpeisiin, jolloin syntyy tarve rakentaa uusia sairaaloita tai laajentaa ja peruskorjata olemassa olevia. Sairaaloiden laajentamisessa on kuitenkin haasteena häiriöttömän sairaalatoiminnan takaaminen rakentamisen aikana. Laajennettavat sairaalat sijaitsevat usein ahtaalla kampusalueella, jolloin työmaan logistiikkaa on syytä kehittää siten, että työmaan aiheuttamia häiriöitä olemassa olevaan sairaalatoimintaan pystytään vähentämään tai välttämään kokonaan. Rakennustyömaan logistiikassa merkittäviä virtoja ovat muun muassa materiaalivirrat työmaalle ja työmaan sisällä sekä purkujätteen ja muun hukkamateriaalin poiskuljetus. Sairaalatoiminnan kannalta keskeisiä virtoja ovat esimerkiksi kampuksella tapahtuva potilas- ja ambulanssiliikenne. Ongelmana on edellä mainittujen yhteensovittaminen.

Rakentamista on luonnehdittu teollisuudenalana tehottomaksi. Noin 30 % ammattilaisten työajasta kuluu varsinaiseen työsuoritukseen, 30 % materiaalien siirtämiseen ja loput 40 % odottamiseen. (T. Särkilahti 2011) Rakennuslehden (2017) mukaan Suomessa oli rakenteilla vuonna 2017 sairaalahankkeita, joiden yhteenlasketut rakennuskustannukset olivat yli miljardi euroa. Näistä kolme suurinta ovat Helsingin Siltasairaala (n. 280 milj. €), Tampereen yliopistollinen keskussairaala (n. 200 milj. €) ja Helsingin Meilahden valtakunnallinen lastensairaala (n. 160 milj. €) (Aatsalo 2017). Materiaalin siirtäminen liittyy olennaisena osana logistiikkaan, ja osaltaan odottaminen voi olla huonosti toteutetun logistiikan tulosta. Näin mittavan kokoluokan hankkeissa logistiikan ja toimitusketjujen tulisi toimia mahdollisimman tehokkaasti ja sujuvasti, jotta työn tehokkuutta voidaan parantaa, rakentamiskustannuksia laskea ja rakentamisen laatua parantaa.

Rakennushankkeiden tehostamiseksi ja sujuvoittamiseksi rakennusteollisuudessa hyödynnetään enenevässä määrin esivalmistusta. Rakennuskomponentit jalostetaan yhä suuremmalle valmiusasteelle tehtaassa. Esivalmistena voidaan hyödyntää esimerkiksi tilaelementtejä, jotka koostuvat valmiiksi rakennetuista runkoelementeistä, valmiista ulko- ja sisäpinnoista, kiintokalusteista sekä talotekniikasta (Gibb ja Isack 2003). Hallituissa ja suotuisissa olosuhteissa valmistetut komponentit vähentävät työmaalla ympäristön aiheuttamia riskejä, kuten materiaalien vahingoittumista (Koskinen 2017, 70). Esivalmistus yksinkertaistaa rakentamisen logistiikkaa vähentämällä työmaalle saapuvan materiaalin määrää (Doran ja Giannakis 2011), mutta toisaalta vaatii tarkkaa logistiikan suunnittelua ja toteutusta pidemmälle jalostetun tuotteen myötä. Näin ollen esivalmistuksella ja sujuvalla logistiikalla voidaan lisätä tuottavuutta merkittävästi. (Kiljunen 2009, 13)

Esivalmisteet ja niiden taustalla oleva tuotteiden modulaarisuus voisivat olla potentiaalinen ratkaisu häiriöttömän sairaalatoiminnan takaamiseksi rakennushankkeen aikana. Tämä parantaisi tuottavuutta, lyhentäisi rakennusvaihetta ja vähentäisi toimitusten lukumäärää. Työmaalle saapuvien ja sieltä pois lähtevien toimitusten vähentyminen ehkäisisi sen sijaan sairaalan logistiikan häiriöitä. Tämä parantaisi logistiikan hallintaa ja vähentäisi häiriöitä sairaalan ympäristössä. Työmaalla vähenisi sekä varastoitavan tavarantoiminnan että suoritettavien työvaiheiden määrä. Työvaiheiden siirtäminen työmaalta tehtaaseen osaltaan vähentäisi työmaalla syntyvää jätettä ja pölyä. Vielä ei kuitenkaan ole riittävästi tietoa eri moduuliratkaisuista: mitä ne ovat sairaalahankkeissa ja miten ne tulisi ottaa huomioon suunniteltaessa hankkeen logistiikkaa.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tässä työssä tutkitaan moduulien käyttöä sairaalarakennushankkeissa. Työn tavoitteena on selvittää, mitä vaikutuksia moduuleilla on sairaalahankkeisiin. Lisäksi työssä tutkitaan miten esivalmistettavat moduulit vaikuttavat työmaan logistisiin ratkaisuihin ja sairaalan toimintaan rakentamisen aikana. Oletuksena on, että esivalmistuksella voidaan vähentää häiriöitä olemassa olevan sairaalan toiminnoissa. Oletuksena on myös, että erilaiset esivalmistusmoduulit vaativat erilaisia logistisia ratkaisuja. Tämän vuoksi hankkeen moduuliratkaisut joudutaan osin määrittämään logistiikan ehdoilla. Tavoitteisiin pyritään vastaamalla seuraaviin kolmeen tutkimuskysymykseen.

Tutkimuskysymys 1 (TK1): Mitkä moduulit ovat käyttökelpoisia sairaalahankkeissa?

Työssä arvioidaan sairaalahankkeen kannalta hyödyllisiä moduuliratkaisuja. Oletuksena on, että monet kirjallisuudessa esitetyt moduulit ovat potentiaalisia myös sairaalarakentamisessa. Sairaaloiden erityistilojen ja –tarpeiden vuoksi on kuitenkin tarpeen määritellä erikseen niihin soveltuvat moduuliratkaisut.

Tutkimuskysymys 2 (TK2): Minkälaisia kokonaisvaikutuksia moduulien käytöllä on sairaalainvestoinneissa?

Työssä arvioidaan moduulien vaikutuksia sairaalarakentamisen kustannuksiin, aikatauluun, laatuun ja käytettävyyteen. Mahdollinen vaikutus on esimerkiksi häiriöiden vähentyminen sairaalan sisäisissä prosesseissa ja kampuksella tapahtuvassa liikenteessä, kuten potilas- ja ambulanssiliikenteessä.

Tutkimuskysymys 3 (TK3): Miten sairaalahankkeissa käytettävät moduulit vaikuttavat työmaan logistiikkaan?

Tutkimuksessa selvitetään moduuleista aiheutuvia haasteita ja mahdollisuuksia logistiikan näkökulmasta. Mahdollisia haasteita ovat tilanahtaus ja moduulien toimitusten hallinta työmaalle asennuskohteeseen. Mahdollisia hyötyjä moduulien käytöstä ovat materiaalivirtojen yksinkertaistuminen, rakentamisen laadun ja työturvallisuuden parantuminen sekä pölyn- ja kosteudenhallinnan parantuminen.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tässä työssä käytetään tutkimusmenetelmänä konstruktivistista tapaustutkimusta. Konstruktivisessa tutkimuksessa on tarkoitus keskittyä sellaisiin tosielämän ongelmiin, jotka nähdään tarpeellisiksi ratkaista. Menetelmä on myös kytketty olemassa olevaan teoreettiseen tietämykseen, ja tarkoituksena on reflektoida empiirisiä löydöksiä takaisin teoriaan. (Lukka 2014) Tässä työssä ratkaistava tosielämän ongelma liittyy ahtaisiin ja vilkkaisiin sairaalakampuksiin, joissa ei saisi ollenkaan tai tulisi mahdollisimman vähän häiritä ympärillä olevaa sairaalatoimintaa. Mahdollinen ratkaisu ongelmaan voisi olla erilaiset modulaariset ratkaisut, mutta vielä ei ole tarpeeksi tietoa: mitä eri ratkaisut olisivat, ja miten ne tulisi ottaa huomioon logistiikan suunnittelussa ja toteutuksessa. Teorian hyödynnetään siis modulaarisuutta, sen eri asteita sekä työmaan logistiikkaan liittyvää aikaisempaa tutkimusta. Tutkimusmenetelmä on kuvattu tarkemmin luvussa 6.

1.4 Työn rajaukset ja rakenne

Työssä keskitytään sairaalahankkeisiin, jotka ovat teknisesti ja toiminnallisuudeltaan vaativia rakennuksia (Luoma-Halkola 2017). Tutkimuksessa on mukana kolme yliopistosairaa-

laa, yksi keskussairaala ja yksi yksityinen sairaala. Rajauksen ulkopuolelle jäävät siis esimerkiksi pienet terveyskeskukset. Pääpaino tutkimuksessa on uudisrakentamisessa. Sairaalahankkeita keskitytään tarkastelemaan ennen kaikkea moduulien ja logististen ratkaisujen näkökulmasta. Tarkastelun ulkopuolelle jäävät esimerkiksi yleisessä käytössä olevat betonielementtirakenteet. Logistiikan osalta työ rajautuu tuotekomponentteihin ja niiden toimittamiseen, työmaa-aikaiseen varastointiin, asennuspisteeseen ja lopulliseen asennukseen. Toisin sanoen esimerkiksi moduulivalmistajien raaka-aineiden kuljetukset tehtaisiin rajautuvat tutkimuksen ulkopuolelle. Tässä työssä ei myöskään keskitytä rakennettavan sairaalan käytön aikaisen logistiikan ratkaisuihin. Työ ei ota kantaa esimerkiksi siihen, miten potilas- tai materiaalivirrat sairaaloiden sisällä tulisi järjestää.

Kirjallisuustutkimuksessa (luvut 2, 3 ja 4) selvitetään aiempien tutkimusten pohjalta olemassa olevia moduuleita, rakennushankkeiden logistiikkajärjestelyitä sekä sairaalarakentamiseen liittyviä erityispiirteitä. Kuudennen luvun menetelmäselostuksessa kerrotaan tarkemmin empiirisen tutkimuksen menetelmistä. Seuraavassa luvussa esitellään tapaustutkimuskohteet ja käydään läpi työn tulokset. Tutkimuksessa kehitetty viitekehys sairaalahankkeiden moduuliratkaisuista esitetään luvussa kahdeksan. Lopuksi pohditaan työn tuloksia niiden merkittävyyden ja uutuusarvon osalta. Lisäksi tehdään johtopäätöksiä ja suosituksia tulosten pohjalta ja arvioidaan työn luotettavuutta.

2 MODUULIRAKENTAMINEN

2.1 Käsitteistön määrittely

2.1.1 Modulaarisuus

Modulaarisuudelle löytyy kirjallisuudesta useita määritelmiä. Seuraavaksi käydään läpi näiden määritelmien samankaltaisuuksia ja eroavaisuuksia sekä lopuksi selvitetään, mitä tässä työssä modulaarisuudella tarkoitetaan.

Goslingin ym. (2016) mukaan modulaarisuus on joukko erillisiä osia tai yksiköitä, jotka voidaan liittää yhteen, ja jonka lopputuloksena on esimerkiksi huonekalu tai rakennus. Baldwin ja Clark (2004, 153) määrittelevät modulaarisuuden tarkoittavan strategiaa, jolla tehokkaasti järjestetään monimutkaisia tuotteita ja prosesseja. Modulaarinen järjestelmä koostuu erikseen suunnitelluista yksiköistä, moduuleista, jotka toimivat yhdistettynä kokonaisuutena.

Doran ja Giannakis (2011) toteavat modulaarisuudella tarkoitettavan hyvin yleisiä periaatteita monimutkaisuuden hallitsemiseksi. Jakamalla monimutkainen järjestelmä irrallisiksi osiksi voidaan vähentää muuten hallitsematonta järjestelmien yhteenliitäntöjen vyyhtiä. Jaetut osat voivat olla yhteydessä keskenään ainoastaan standardoitujen rajapintojen kautta standardoidussa arkkitehtuurissa. Miller ja Elgård (1998) toteaa modulaarisuuden olevan järjestelmän ominaisuus, joka liittyy rakenteeseen ja toiminnallisuuteen. Modulaarinen rakenne sisältää omavaraisia ja toiminnallisia yksiköitä, jotka ovat yhteydessä toisiinsa standardoiduin rajapinnoin ja vuorovaikutuskeinoin. Muunnelma tuotteesta saadaan vaihtamalla rakenteessa yksi yksikkö toiseen.

Kaikkien edellä mainittujen määritysten perusteella modulaarisuuteen liittyy olennaisena osana komponenttien rajapinnat sekä niiden liitettävyyys. Goslingin ym. (2016), Baldwinin ja Clarkin (2004, 153) sekä Doranin ja Giannakis (2011) mukaan modulaarisuuden tarkoituksena on yksinkertaistaa monimutkaista tuotetta tai prosessia jakamalla se osiin, moduuleihin.

Tässä työssä modulaarisuus on tuotteen tai prosessin ominaisuus, jolla voidaan pilkkoa tämä monimutkainen tuote tai prosessi yksittäisiin ja irrallisiin osiin, jolloin monimutkaisen kokonaisuuden suunnittelu ja tuottaminen helpottuu. Näitä osia kutsutaan moduuleiksi, jotka voidaan suunnitella erikseen, ja jotka ovat yhteydessä toisiinsa ainoastaan standardoitujen rajapintojen kautta. Erilaisia tuotevariaatioita voidaan tuottaa vaihtamalla moduuli toiseen. (Gosling ym. 2016; Baldwin ja Clark 2004, 153; Doran ja Giannakis 2011; Miller ja Elgård 1998)

2.1.1.1 Modulaarinen ja integraalinen tuotearkkitehtuuri

Modulaarisuus liittyy siis keskeisesti tuotteen koostumukseen eli arkkitehtuuriin. Kirjallisuudessa tuotearkkitehtuuri jaetaan kahteen kategoriaan; *integraaliseen* ja *modulaariseen* arkkitehtuuriin. *Integraalisessa* arkkitehtuurissa tuotteen komponenteilla on kolme keskeistä piirrettä: Ensiksi, yksittäinen komponentti usein toteuttaa monia toimintoja. Toiseksi, integraalisessa arkkitehtuurissa tuotteen komponentit ovat lähellä toisiaan tai läheisessä tilasuhteessa toistensa kanssa. Kolmanneksi komponentit ovat erittäin synkronoituja. Usein esimerkiksi muutokset yhdessä komponentissa vaativat muutoksia tuotteen muihin komponentteihin. Integraaliselta tuotteelta vaaditaan sellaista toiminnallisuutta, joka on tuotettu

useiden alijärjestelmien avulla, eikä voida asettaa ainoastaan yksittäistä komponenttia suorittamaan toimintoa. (Voordijk ym. 2006; Ulrich 1995)

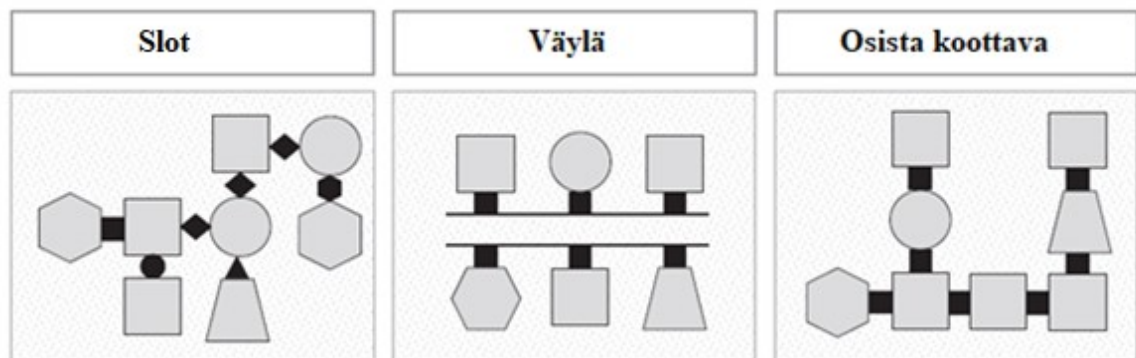
Modulaarisessa arkkitehtuurissa tuotteessa on sen sijaan komponentteja, jotka ovat vaihdettavia, itsenäisiä ja yksittäin muutettavissa. Tämän mahdollistaa se, että komponenttien väliset rajapinnat on standardoitu. Modulaarisessa tuotearkkitehtuurissa on siis kaksi merkittävää tekijää; komponenttien ja rajapintojen itsenäisyys. (Voordijk ym. 2006) Ulrichin (1995) mukaan modulaarisessa arkkitehtuurin keskeisenä piirteenä on se, että yksi komponentti suorittaa yhden toiminnon tai vain muutamia toimintoja.

2.1.1.2 Modulaarisuuden eri alalajit

Modulaarinen arkkitehtuuri jaetaan kolmeen eri kategoriaan, joita havainnollistetaan kuvassa 1. Ensiksi *slot* arkkitehtuurissa jokainen rajapinta komponenttien välillä on erilainen, joten eri komponentteja tuotteessa ei voida vaihtaa keskenään. Toisin sanoen, jokaisella komponenttityyppiparilla on omanlainen rajapinta. (Ulrich 1995)

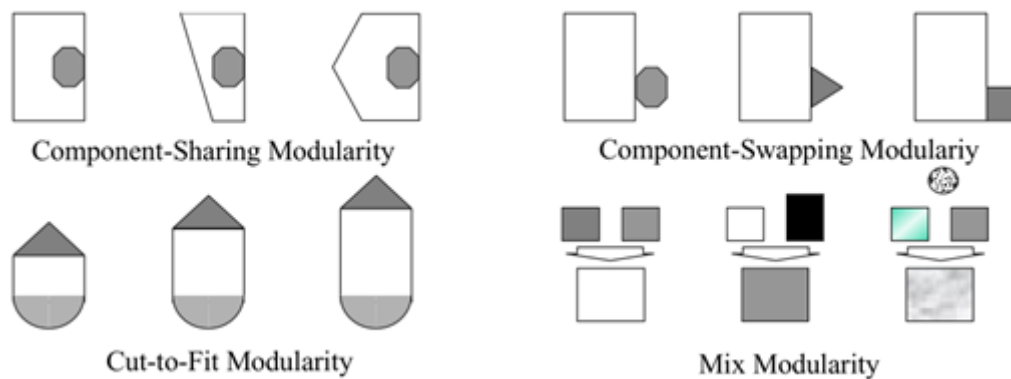
Toiseksi *väyläarkkitehtuurissa* on yhteinen väylä, johon fyysiset komponentit yhdistyvät saman rajapinnan avulla (Ulrich 1995). Rakentamisessa perustusta voidaan luonnehtia väyläarkkitehtuurin pohjana, johon voidaan asentaa eri tyyppisiä seinämoduuleja (Jensen ym. 2012).

Kolmanneksi *osista koottavassa* arkkitehtuurissa kaikki rajapinnat komponenttien välillä ovat samanlaisia. Tuote siis kootaan liittämällä osia toisiinsa identtisten rajapintojen avulla. (Ulrich 1995) Rakennusteollisuudessa tällaisia osia ovat esimerkiksi esivalmisteiset ikkunat ja seinät (Jensen ym. 2012).



Kuva 1 Modulaarisuuden eri alalajit. Lähde: Peltokorpi ym. 2018, muokannut Juhani Narko

Slot modulaarisuus osaltaan jaetaan neljään alatyyppiin, jotka ovat *räätälöinti*, *component sharing*, *component swapping* ja *Mix-modularity* (Kuva 2). Räätälöinnissä (*engl. cut-to-fit*) on parametrisointiominaisuus, jossa moduulin rajapinta säilyy samana, mutta mitat voivat vaihtua. Rakentamisessa usein esimerkiksi seinän pituus on muuttuva parametri. (Jensen ym. 2012) *Component sharing* on kyseessä silloin, kun samaa komponenttia käytetään eri tuotteissa. *Component swapping*-modulaarisuudella tarkoitetaan arkkitehtuuria, jossa kahta tai useampaa vaihtoehtoista komponenttia liitetään samaan perustuotteeseen. (Erixon 1998, 53) *Mix-modularity* arkkitehtuuri on samankaltainen kuin *component swapping*, mutta liitettäessä moduuleja ne menettävät uniikin identiteettinsä (Duray 1997, 45).



Kuva 2 Slot-modulaarisuuden alalajit. Lähde: Erixon 1998 muokannut Juhani Narko

Edellä mainitut arkkitehtuurityypit on yksinkertaistettu, ja usein todelliset tuotteet koostuvat eri arkkitehtuurityyppien yhdistelmästä. Tämän lisäksi katsontakannasta riippuen arkkitehtuurityyppi voi olla eri, sillä tuotteen kokonaisuus voidaan nähdä loppukokoonpanotasolla, tai yksittäisen osan ja alikokoonpanon tasolla. (Ulrich 1995)

2.1.1.3 Tuotteen, prosessin ja toimitusketjun modulaarisuus

Modulaaristen tuotteiden lisäksi on olemassa modulaarisia prosesseja sekä toimitusketjuja. *Prosessien modulaarisuutta* kuvataan kahdella suureella; ajalla ja paikalla. *Integraalisessa* prosessiarkkitehtuurissa prosessin eri vaiheet tapahtuvat hyvin lähellä toisiaan sekä ajan että paikan suhteen. Sen sijaan *Modulaarisessa* prosessiarkkitehtuurissa prosessin eri vaiheet suoritetaan erillään toisistaan. (Fine 1998, 143–144)

Integraalisessa prosessiarkkitehtuurissa prosessin vaihe on tiiviisti kytköksissä muihin prosessin vaiheisiin. Esimerkiksi usein integraalisen tuotteen suunnittelussa on keskenään tiiviisti kytkettyjä kehitysprosesseja, sillä muutos johonkin integraalisen tuotteen komponenttiin suurella todennäköisyydellä vaikuttaa tuotteen muihin komponentteihin. Tämä vaatii osakseen avointa johtamistapaa, jotta voidaan koordinoida integraalisen tuotteen tuotekehitysprosesseja. (Sanchez 2005, 107)

Modulaarisessa prosessiarkkitehtuurissa prosessin vaihe on itsenäinen osa, joka voidaan liittää joustavaksi osaksi prosessia. Näin prosessia voidaan muunnella tarpeen mukaan. Modulaariset tuotearkkitehtuurit osaltaan mahdollistavat modulaariset prosessiarkkitehtuurit, joissa prosessin vaiheita voidaan toteuttaa samanaikaisesti ja itsenäisesti ilman jatkuvaa johtamista. (Sanchez 2005, 108)

Toimitusketjun modulaarisuutta kuvataan neljällä suureella: maantieteellisellä, organisaatiollisella, kulttuurillisella ja elektronisella etäisyydellä. Maantieteellinen etäisyys toimijoiden välillä voidaan yksinkertaisimmillaan mitata fyysisenä etäisyytenä. Esimerkiksi erityisen integraalisilla tuotteilla jatkuvat iteraatiot tuotekehityksessä voidaan tehokkaimmin toteuttaa, kun eri kehitysosastot ovat mahdollisimman lähellä toisiaan. Organisaationaalista etäisyyttä voidaan arvioida omistajuussuhteiden rakenteella, hallinnollisella valvonnalla sekä ihmisten ja työryhmien välisillä riippuvuussuhteilla. Kulttuurillinen etäisyys voidaan mitata esimerkiksi yhteisellä kielellä ja eettisillä standardeilla. Elektroninen etäisyys voidaan mitata muun muassa käytössä olevien sovellusten avulla. Esimerkiksi Toyotalla on käytössä tietokoneavusteisia suunnitteluohjelmistoja, joita voidaan käyttää kaikissa eri toimitusketjun osissa

mahdollistaen samanaikaisen suunnittelun ja lyhentäen elektronista etäisyyttä. (Fine 1998, 136–137)

Toimitusketjun modulaarisuudella kuvataan kolmea eri asiaa: kuka tekee mitä työtehtäviä, miten tehtävät jakautuvat eri yritysten välillä, ja miten eri toimijat kommunikoivat keskenään. Rakentamisen toimitusketjun analyysissä huomioidaan rakentamisen prosessin eri vaiheet: aloitus, suunnittelu, toteutus, luovutus ja käyttö. Edellä mainittujen vaiheiden aikana tehdään päätöksiä muun muassa työvaiheiden ulkoistamisista ja mihin osiin tehtävät ja vastuu sopimusten avulla jaetaan. (Voordijk ym. 2006)

Rakentamisen toimitusketjun modulaarisuuden määrittelyssä huomioidaan erityisesti suunnittelun ja toteutuksen eriytymisen aste. Ensimmäisessä kategoriassa suunnittelun ja toteutuksen vastuut on eriytetty (*modulaarinen*), kun toisessa kategoriassa nämä on yhdistetty (*integraalinen*). (Voordijk ym. 2006)

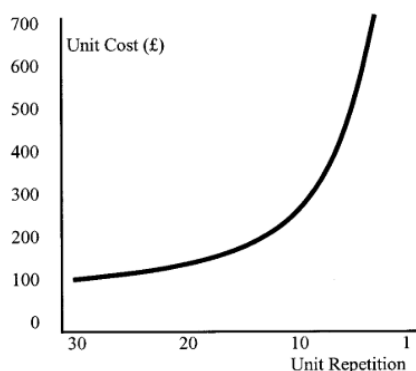
Kirjallisuudessa väitetään, että tuotteen, prosessin ja toimitusketjun arkkitehtuurit noudattavat samaa linjaa. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että integraaliset tuotteet toteutetaan yleensä integraalisin prosessein ja toimitusketjuin sekä päinvastoin. (Fine 1998, 140; Voordijk ym. 2006)

2.1.1.4 Standardointi

”Standardi on toistuvan tapauksen yhdenmukainen ratkaisu.” (SFS ry 2018)

Standardoinnilla tarkoitetaan komponenttien, menetelmien tai prosessien säännöllisyyttä ja toistuvuutta. Standardoinnin taustalla on toimivat käytännöt ja ennustettavuus. Jotkin osat ovat luonnollisesti *geneerisiä standardeja* tai vaihtoehtoisesti valtiolähtöisesti *kansallisia standardeja*. (Gibb 2001)

Standardoiduilla tuotteilla on sanottu olevan korkeampi suorituskyky suhteessa kustannuksiin kuin uniikkisuunnitelluilla tuotteilla. Standardoinnilla voidaan vähentää tuotteen monimutkaisuutta, kustannuksia, tuotekehityksen läpimenoaikaa sekä epävarmuutta. Tätä havainnollistetaan kuvassa 3. Mitä enemmän esimerkiksi betonielementti toistuu, sitä edullisemmaksi tulee kyseinen elementti valmistaa. (Gibb 2001)



Kuva 3 Esivalmistetun betonielementin yksikkökustannus (Unit Cost) suhteessa yksikön toistuvuuteen (Unit Repetition). Lähde: Gibb 2001

Toisaalta standardointi voi haitata tuotekehitystä ja aiheuttaa yhteensopivuusongelmia. Yhtenä keskeisenä haasteena on yhtenäisyyden ja variaation ristiriita, sillä tuote halutaan standardoida mahdollisimman paljon säilyttäen kuitenkin mahdollisimman paljon joustavuutta. Toisaalta keskeisimpänä tavoitteena standardoinnissa on osien liitettävyys toisiinsa eikä se, että osat itsessään olisi standardoitu. (Ulrich 1995; Gibb 2001)

Standardisointi olikin esivaatimus komponenttien tehdastuotannolle. Esimerkiksi tiilet olivat ensimmäisiä, kaikista yksinkertaisimpia ja eniten standardisoitu komponentti talonrakennuksessa. Niitä tuotettiin tehtaissa erätuotantona ja myöhemmin massatuotantoprosessein. (Gann 1996)

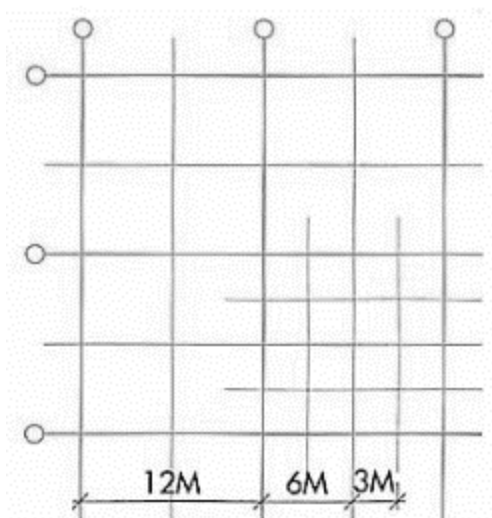
Modulaarinen arkkitehtuuri mahdollistaa standardoinnin. Kahdessa eri tapauksessa komponentti voidaan standardoida, joko komponenttien rajapintojen ollessa identtinen vähintään yhden toisen tuotteen kanssa, tai komponentti toteuttaa yleisesti hyödyllisen toiminnon. Muussa tapauksessa komponentista ei olisi hyötyä kuin yhdessä käyttökohteessa, tai ei fyysisesti mahtuisi kuin yhteen käyttökohteeseen. Modulaarinen arkkitehtuuri mahdollistaa sekä komponenttien rajapintojen olevan identtisiä keskenään, että yleisesti lisää tuotteen hyödyllisyyden todennäköisyyttä. (Ulrich 1995)

2.1.2 Moduuli

Modulaarisen järjestelmän keskeinen käsite on moduuli. Moduulille on kirjallisuudessa useita erilaisia määritelmiä, joista tässä työssä käsitellään kolmea. Miller (1998) määrittelee moduulin olennaiseksi ja omavaraiseksi yksiköksi tuotteessa, jonka osa moduuli on. Tuote voidaan koostaa järjestelmäkohtaisilla standardoiduilla rajapinnoilla ja vuorovaikutuskeinoilla käyttämällä eri moduulien yhdistelmää.

Gosling ym. (2016) ehdottavat, että fyysinen moduuli on rakennusyksikkö osana laajempaa järjestelmää, joka voidaan liittää valmiiksi suunnitelluilla rajapinnoilla. Fyysiset moduulit esiintyvät eri hierarkkisilla tasoilla koko tuotearkkitehtuurissa. Niitä voidaan valmistaa työmaalla tai työmaan ulkopuolella, ja ne voivat olla tilan määrittäviä tai ei tilan määrittäviä.

Rakennustiedon RT 03-10525-kortissa (1993) moduulilla tarkoitetaan mittajärjestelyä, jonka tarkoituksena on muun muassa helpottaa suunnittelua ja varmistaa osien yhteensopivuus. Mittajärjestelyyn liittyy perus- ja liittymismitat, toleranssit, mittausten menetelmät, moduuliverkot, kanta- sekä kertomoduulit. Järjestelyssä keskeisenä osana on sijoittaa suunniteltava rakennus kohtisuorien moduuliviivojen muodostamaan moduuliverkkoon (Kuva 4). Moduuliviivojen välien perusmittana käytetään desimetrin pituista kantamoduulia M, ja kertomoduulit ovat kantamoduulien kerrannaisia, esimerkiksi 3M, 6M ja 12M. Liittymismitan tarkoituksena on varmistaa osien yhteensopivuus, johon liittyy niin komponentin, sen asennuksen ja komponenttien välisen sauman tarvitsema tila sekä mittapoikkeamat.



Kuva 4 Suorakulmainen moduuliverkko Lähde: RT 03-10525 1993

Tässä diplomityössä moduulilla tarkoitetaan olennaista ja omavaraista rakennusyksikköä, jolla on standardoidut rajapinnat, ja joita yhdistelemällä voidaan koota isompi kokonaisuus kuten rakennus. Moduulien eri hierarkkisia tasoja käsitellään tarkemmin luvussa 2.2. Seuraavaksi käsitellään rakentamisen moduuleihin vahvasti liittyvää esivalmistamista.

2.1.3 Esivalmistus

Valmistaminen tarkoittaa tuotantojärjestelmää, jossa materiaalia, pääomaa ja työvoimaa sitotaan yhdessä tai useammassa tuotantolaitoksessa (Gann 1996). Esivalmistus tarkoittaa valmistusprosessia, jossa useita materiaaleja ja komponentteja työstetään ja liitetään yhteen ennen niiden lopullista asennusta lopputuotteeseen. Esivalmistuksessa osa perinteisesti työmaalla tehtävistä työvaiheista tehdään aiemmin. (Gibb ja Isack 2003; Said 2015; Azman ym. 2012) Esivalmistamiseen liittyy se, että osaan liittyvät työvaiheet tehdään muualla, kuin osan lopullisessa asennuspaikassa (Ballard ja Arbulu 2004).

Työmaan ulkopuolella tapahtuva työ mahdollistaa sen, että rakennuskokoonpanoja ja komponentteja voidaan valmistaa standardoiduissa ja hallituissa olosuhteissa (Gibb ja Isack 2003; Said 2015). Toisaalta tuotteiden esivalmistus voi tapahtua myös työmaalla, kuitenkin erillään lopullisesta asennuskohteesta (Azman ym. 2012; Abrantes ym. 2017).

Esivalmistusta luonnehditaan modernina rakentamistapana (*engl. Modern Method of Construction, MMC*) sekä teollisena rakennusjärjestelmänä (*engl. Industrialized Building System*) (Azman ym. 2012). Modernilla rakennustavalla tarkoitetaan lukuisia innovaatioita rakentamisessa, joista useimmat ovat mahdollisia tekniikoita ainoastaan, kun työtä siirretään työmaalta tehtaaseen (Pan ym. 2007).

Osaltaan esivalmistuksen tuotteet, esivalmisteet, jaetaan kahdentyyppiseen kategoriaan: niitä, joita tuotetaan etukäteen tietämättä rakennuksen suunnitelmista ja niitä, joita tuotetaan ainoastaan, kun suunnitelmat ovat valmiit. Luvussa 4.3 esitettyjen tuotannon ohjaustapojen mukaisesti ensiksi mainitut tuotetaan varastoon (MTS) ja myöhemmin mainitut suunnitellaan tilauksesta (ETO). (Gann 1996)

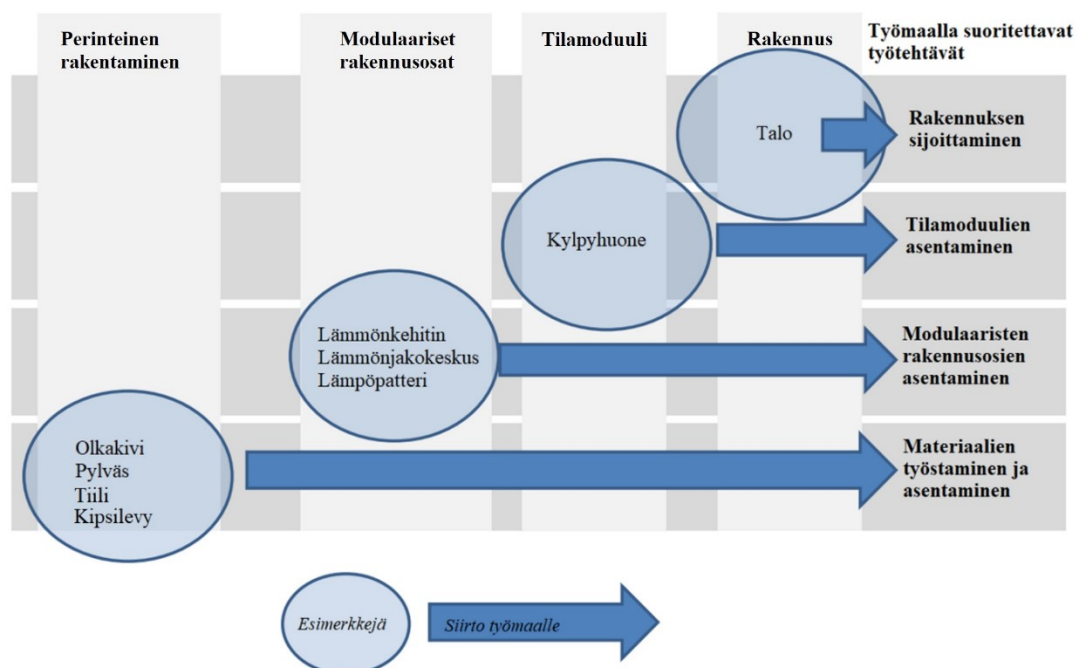
Esivalmistuksen mahdollistaa modulaarisuus (Peltokorpi ym. 2018). Monimutkaisen järjestelmän osia voidaan vähentää ryhmittelemällä niitä isommiksi osakokonaisuuksiksi. Tämä vähentää monimutkaisuutta ja vaihtelua, ja vastaavasti lisää tuotannon ohjattavuutta. Yhdistelemällä eri osakokonaisuuksia eri tavoin, voidaan saavuttaa isompi tuotevalikoima. Tätä menetelmää kutsutaan massaräätälöinniksi, jossa tuotetaan räätälöityjä ratkaisuja kustannustehokkaasti. (Bildsten 2011) Toisaalta rakennusvaiheen tehostaminen modulaarisuudella vaatii esivalmistuksen hyödyntämistä, missä käytetään teollista tuotantoympäristöä (Peltokorpi ym. 2018).

2.2 Rakennusteollisuuden modulaarisuusasteet ja moduulirakentamisen historiaa

Edellisessä luvussa käsiteltiin modulaarisuutta ja moduuleja yleisellä tasolla. Tässä luvussa selvitetään tarkemmin, miten modulaarisuus ilmenee rakennusteollisuudessa tänä päivänä ja historiassa.

2.2.1 Modulaarisuuden eri asteet rakennusteollisuudessa

Aiemmin luvussa 2.1 käsiteltiin modulaarisuutta ja moduuleja yleisesti. Tässä luvussa tarkastellaan tarkemmin, miten modulaarisuus ilmenee rakennusteollisuudessa. Kirjallisuudessa rakentamisen modulaarisuusasteet jaetaan neljään eri kategoriaan kuvan 5 mukaisesti: modulaarinen rakennus, tilamoduuli, modulaariset rakennusosat ja paikan päällä rakentaminen.



Kuva 5 Rakennuksen modularisaation eri asteet. Lähde Gosling ym. 2016 muokannut Juhani Narko

Modulaarinen rakennus kuvaa modulaarisuuden äärimmäistä astetta. Se on esivalmistettu, joko itsenäinen tai toiseen liittyvä yksikkö. Työmaalla ainoaksi tehtäväksi jää rakennuksen sijoittaminen. Modulaarista rakennusta ei välttämättä tuoda työmaalle kokonaisena rakennuksena, vaan se voidaan toteuttaa esimerkiksi rakennusviipaleina. (Gosling ym. 2016; Gibb ja Isack 2003)

Tilamoduuli nimensä mukaisesti määrittelee tilan, jolla on oma runko. Tilaelementtijärjestelmät sisältävät kolmiulotteisia moduuleja, joita voidaan käyttää yksittäisinä tai kerrannaisina rakennuksen rakenteen muodostamiseen. Esimerkiksi kylpyhuone voidaan toteuttaa tilaelementtinä. Tämän kaltaiset moduulit voidaan esikäsitellä tehtaassa, ja voivat sisältää kaikki tarvittavat kalusteet ja varusteet. Näin ollen työmaalle jää hyvin rajallisesti asennustyötä, joita ovat tilamoduulien pystyttäminen ja/tai sijoittaminen toteutustavasta riippuen. (Doran ja Giannakis 2011; Gosling ym. 2016; Gibb ja Isack 2003)

Modulaarisella rakennusosalla tarkoitetaan yksittäistä esivalmistettua rakennusosaa, joka ei yksinään muodosta erillistä tilaa. Esimerkiksi valmiit julkisivupinnat, eristemateriaalit, ovet ja ikkunat sisältävä seinäpaneeli ovat modulaarisia rakennusosia. Toista modulaarisuuden ääripäätä kuvaa *paikan päällä rakentaminen*. Rakentaminen tapahtuu nimensä mukaisesti rakennuskohteessa, ja sitä kutsutaan perinteiseksi rakentamistavaksi. Työtä tapahtuu vähiten tehdasolosuhteissa muihin modulaarisuuden kategorioihin verrattuna. (Doran ja Giannakis 2011; Gosling ym. 2016; Gibb ja Isack 2003)

2.2.2 Modulaarisuuden historiaa

Modulaarisuus ja moduulit eivät ole täysin uusia asioita rakentamisessa, vaan niitä on käytetty jo muinaishistoriasta asti. Latinan kielen sanaa *modulus* käytettiin tuolloin pituuden mittana. Rooman keisari Augustuksen alaisuudessa työskennellyt arkkitehti Marcus Vitruvius Pollio kuvasi termiä kirjassaan, jossa hän ehdotti muun muassa lakeja temppelien ja pilareiden mittasuhteille ja symmetrialle. Moduulia käytettiin standardimittana oikeiden mitasuhteiden varmistamiseen. (Miller ja Elgård 1998)

Ensimmäinen tuotteistettu rakennus myytiin vuonna 1833, joka oli täysin esivalmistettu liikuteltava siirtomaamökki. Teollinen vallankumous mahdollisti kustannustehokkaan valuraudan ja puutavaran käyttämisen. Vuonna 1851 suunniteltua kristallipalatsia pidetään tänäkin päivänä yhtenä merkittävänä rakennuksena, jossa hyödynnettiin aikansa valmistusprosessien lisäksi modulaarisuunnittelua. Tämä mahdollisti osien esivalmistamisen työmaan ulkopuolella, ja rakennuksen pystyttämisen työmaalla. (Ågren ja Wing 2014)

Bauhaus-aikana vuosina 1919-1933 yhdistettiin rakentamisessa standardisoinnin toiminnallinen ajattelu ja teollinen tuotanto. Moduulia käytettiin rakennuslohkokonseptissa, jossa lohkot olivat toiminnallisia yksiköitä. Moduuli oli edelleen standardimitta, jolla saavutettiin erilaisia lohkojen yhdistelmiä. (Miller ja Elgård 1998)

1960-luvulla rakennuslohkokonseptista kehitettiin rakennuslohkojärjestelmä Baukasten, jossa kuvattiin eri tyyppisten lohkojen luonnetta ja ominaisuuksia. Järjestelmä mahdollisti erilaisten variaatioiden luomisen yhdistelemällä ja muuttamalla eri rakennuslohkkoja. Tällöin hyödynnettiin laajasti esivalmistettuja osia ja muun muassa ehdotettiin laadunvalvonnan käyttöönottoa. 1960-luvun teolliset kerrostalo-ohjelmat osoittivat suunnittelun, pohjapiirrosten, materiaalivalintojen ja rakentamisen johtaneen tuotteisiin, jotka usein eivät olleet sosiaalisesti hyväksyttäviä ratkaisuja. (Miller ja Elgård 1998; Gann 1996)

Suomessa rakennusosalta puuttui yhteiset vakioidut mitat vielä 1960-luvun alkupuolella. Ainoastaan rakennusliikkeiden omistamalla tehtailla oli omat mittajärjestelmänsä, jotka eivät olleet yhteensopivia keskenään. Muuttien jatkuvasta vaihtamisesta sekä erilaisista kiinnitys- ja aukkoetaljeista syntyi suuria kustannuksia. (Haara 2018, 427; Hytönen ja Seppänen 2009)

Vuonna 1963 aloitettiin suomalaisen betonielementtijärjestelmän BES kehitys. BES-järjestelmällä tavoiteltiin asuntojen pohjien vapaamuotoista suunnittelua. Jännevälejä pystytettiin pidentämään pitkillä esijännitetyillä palkeilla 10 – 12 metriin. Toisaalta Suomen Betoniteollisuuden keskusjärjestön (SBK) työryhmä laati muistion 1965, jonka mukaan betonielementiteollisuus voisi vielä kehittyä, jos alalla hyödynnettäisiin standardoinnin ja moduulijärjestelyjen etuja. Esimerkiksi rakenteiden liitokset, kiinnitysosat ja työskentelytavat vakioitiinkin, mitkä osaltaan toi standardisoinnin etuja välillisesti kasvattamalla alihankintatoimintaa. (Hytönen ja Seppänen 2009; Soini 1991, 186–189)

BES kehityshankkeessa vertailtiin ulkomailla käytettyjä elementtijärjestelmiä. Näistä mielekkäimmiksi vaihtoehtoiksi valittiin kantavat seinät-malli ja pilari-laatta-malli, joista pilari-laatta-malli oli suunnittelun kannalta joustavampi järjestelmä, ja kantavat seinät-malli 20-30 markkaa neliötä kohden edullisempi. (Hytönen ja Seppänen 2009)

Vuonna 1970 valmistuneen BES-kehityshankkeen järjestelmä oli avoin ei ainoastaan siten, että asuntopohjaa voitiin hyvin vapaasti muunnella, vaan myös siten että se oli kaikkien käytettävissä. BES-järjestelmällä Suomesta tuli edelläkävijä avoimen elementtijärjestelmän käytössä. (Hytönen ja Seppänen 2009)

2.3 Modulaarisuuden mahdollisuuksia, haasteita ja vaatimuksia

Kirjallisuudessa käsitellään modulaarisuuden mahdollisuuksia ja siihen liittyviä haasteita. Mahdollisuudet liittyvät esimerkiksi esivalmistamisen tuomiin hyötyihin ja haasteet esimerkiksi tietämättömyyteen. Seuraavaksi käsitellään modulaarisuuteen liittyviä mahdollisuuksia, haasteita ja vaatimuksia.

2.3.1 Modulaarisuuden mahdollisuudet

Kirjallisuudessa modulaarisuudella on esitetty olevan useita eri mahdollisuuksia kuten joustavuus, massaräätälöinti, kustannusten vähentyminen sekä variaatioiden hallinta. Modulaarisuudesta on paljon hyvin tunnettuja hyötyjä teollisuuden aloilla, jotka luvussa 4.3 esitettävien tuotannon ohjaustapojen mukaisesti valmistavat varastoon (make-to-stock, MTS) tai kokoavat tuotteita tilauksesta (assemble-to-order, ATO). (Pero ym. 2015)

2.3.1.1 Aikataulu- ja kustannushyödyt

Merkittäviä mahdollisuuksia modulaarisuudesta ovat siitä saatavat aikataulu- ja kustannushyödyt. Hankkeen aikataulu voi nopeutua esimerkiksi toteuttamalla modulaarisia ratkaisuja samanaikaisesti edeltävien rakennusvaiheiden kanssa. Kustannussäästöä voidaan saada muun muassa mittakaavaetujen myötä. Seuraavaksi käsitellään modulaarisuudesta koituvia aikataulu- ja kustannushyötyjä.

Yksi merkittävistä modulaarisuuden mahdollisuuksista on siitä koituvat aikatauluhyödyt rakennushankkeissa. Tätä aikatauluhyötyä havainnollistetaan kuvassa 6, jossa verrataan työmaalla rakennettavaa ja työmaan ulkopuolella rakennettavaa hanketta. Modulaarisella rakennustavalla rakennus voi olla otettuna käyttöön jopa 50% nopeammin kuin perinteisin menetelmin toteutettu rakennus. (Modular Building Institute 2018; Kusiak 2002)



Kuva 6 Modulaarisuudesta saatavat aikatauluhyödyt havainnollistettuna. Lähde: Modular Building Institute 2018 muokannut Juhani Narko

Kirjallisuudessa on määritetty perusteluja, miten aikatauluhyödyt ilmenevät. Siron (2017, 30) ja Hongin ym. (2016) mukaan merkittäviä aikasäästöjä voidaan saavuttaa silloin, kun moduuleja valmistetaan samanaikaisesti edeltävien rakennusvaiheiden kanssa. Said (2015) väittää, että aikasäästöjä voidaan saavuttaa esivalmistamalla moduulit työmaan ulkopuolella. Blismaksen ym. (2006) mukaan keskeisenä osana rakennushankkeen nopeutumisessa on työmaavaiheen keston lyheneminen. Edellä mainittujen lisäksi Friedmanin ja Cammallerin (1997) mukaan siivoamiseen tarvittavan ajan määrä vähenee.

Modulaarisilla ratkaisulla voidaan saavuttaa myös kustannushyötyjä. Moduulirakentamiseen liittyy vahvasti esivalmistus, jolla kirjallisuuden mukaan voidaan saada merkittäviä kustannushyötyjä (Pan ym. 2007). Kustannukset osaltaan jaetaan kahteen kategoriaan; suoriin ja epäsuoriin kustannuksiin. Suora kustannus on esimerkiksi moduulin hankintakulu. Sen sijaan epäsuora kustannus on esimerkiksi työmaavaiheen kestosta aiheutuva kulu.

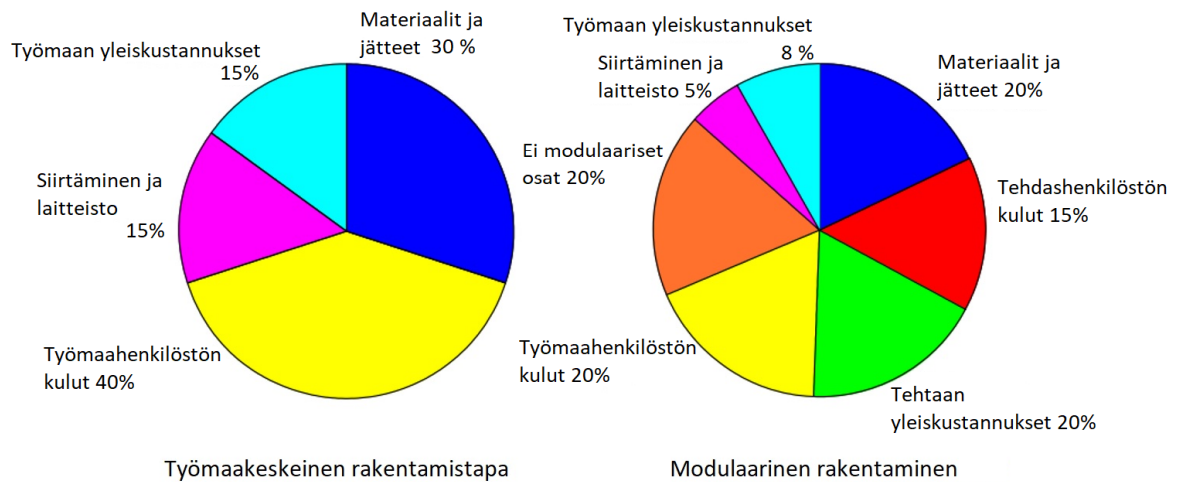
Suurimmat kustannushyödyt tulevat epäsuorista kustannussäästöistä (Blismas ym. 2006). Lawson ja Ogden (2010) toteavat, että rakentamisvaiheen nopeutumisesta johtuvia epäsuoria kustannussäästöjä ovat tilaajan alhaisemmat korkokulut, liiketoiminnan aikaisempi aloittaminen sekä häiriöiden vähentyminen paikallisille tai olemassa oleville yritysille.

Blismas ym. (2006) väittävät, että suorissa kustannusvertailuissa perinteinen rakentamistapa on modulaarista rakentamistapa edullisempi vaihtoehto. Toisaalta Kusiakin (2002) ja Gannin (1996) mukaan modulaarisilla ratkaisulla voidaan toteuttaa myös suoria kustannussäästöjä mittakaavaeduin (*engl. economies of scale, EOS*).

Said (2015) ja Gann (1996) esittävät, että työmaan ulkopuolella tapahtuva esivalmistus vähentää hukan määrää, mikä osaltaan tuottaa kustannussäästöä. Lawsonin ja Ogdenin (2010) mukaan työmaan ulkopuolella tapahtuvalla valmistuksella saavutetaan vähintään 15% säästöt materiaalikustannuksissa. Materiaalikustannusten ollessa 30 % rakennuskustannuksista kyseisillä säästöillä voidaan saavuttaa 4% pienemmät rakennuskustannukset. Sen sijaan Tam ym. (2007) osoittavat, että esivalmistuksella voidaan saavuttaa yli 80 % kustannussäästö jätetuissa.

Kuvassa 7 on vertailtu perinteisen ja modulaarisen rakentamistavan kustannusten jakautumista. Vertailussa on otettu huomioon tuotantolaitokseen tarvittavat investoinnit, valmistamisen tehokkuuden kasvaminen mittakaavaeduilla, materiaalitehokkuuden paraneminen,

työmaavaiheen osuus rakennuskustannuksista, siirto- ja asennuskustannukset, nopean asennuksen hyödyt sekä säästöt työmaan infrastruktuurissa ja hallinnoimisessa. (Lawson ja Ogden 2010)



Kuva 7 Perinteisen ja modulaarisen rakentamistavan kustannusten jakaantumisen vertailu. Lähde Lawson ja Ogden 2010, muokannut Juhani Narko

2.3.1.2 Laadunparantaminen, tehostaminen ja työturvallisuus

Modulaarisuus tarjoaa myös mahdollisuuden parempaan laatuun, tehostamiseen ja turvallisempaan työympäristöön. Modulaarisuuteen vahvasti liittyvällä esivalmistuksella voidaan toteuttaa parempilaatuisia ratkaisuja, kuin jos vastaavat tuotteet olisi toteutettu työmaalla muuttuvissa olosuhteissa. Toisena mahdollisuutena modulaarisuudessa on merkittävä työn tehostaminen, jota voidaan saavuttaa esimerkiksi tietomallintamisella. Toisaalta turvallisempi työympäristö vähentää tapaturman riskiä ja sitä myötä poissaoloja.

Modulaarisilla ratkaisuilla voidaan saavuttaa merkittävästi parempaa laatua, kuin perinteisin menetelmin. Mikäli moduulit valmistetaan tehdasolosuhteissa, on rakentamisen laatu parempi työskentelyolosuhteiden ollessa paremmat. Tehtaassa ollaan suojassa esimerkiksi vesisateelta ja lumelta. (Siro 2017, 30; Friedman ja Cammalleri 1997; Said 2015; Blismas ym. 2006; Pan ym. 2007; Hong ym. 2016) Tehdasolosuhteissa valmistamisessa on mahdollista lisäksi parempaan laadunvalvontaan (Gann 1996; Blismas ym. 2006).

Modulaarisuuteen vahvasti liittyvällä esivalmistuksella voidaan toteuttaa materiaali-, työ ja energiatehokkaampia ratkaisuja. Artikkelissaan Lu ja Korman (2010) väittävät modulaaristen ratkaisujen tulevan tehokkaammiksi ja houkuttelevimmiksi tietomallintamisen yleistymässä, sillä koko rakentamisen prosessi aina suunnittelusta toteutukseen voidaan virtaviivaistaa. Fyysiset ristiriitaisuudet rakenteen ja talotekniikan välillä voidaan tunnistaa helposti jo suunnitteluvaiheessa.

Moduulit valmistetaan tehdasolosuhteissa, joissa käytetään tehokkaammin materiaaleja sekä kierrätetään paremmin jätteitä kuin työmaalla (Siro 2017, 30; Gann 1996). Modulaarisilla ratkaisuilla voidaan korvata tehottomat työmaan aktiviteetit tehokkaammilla ja nopeammilla tehdasprosesseilla (Lawson ja Ogden 2010). Tämän lisäksi optimaalisten olosuhteiden valitessa esimerkiksi tilamoduulin tai seinäpaneelin eristeen asentaminen voidaan toteuttaa paremmin. Tämä osaltaan johtaa energiatehokkaampiin ratkaisuihin rakennuksen elinkaaren aikana. (Friedman ja Cammalleri 1997)

Tehokkaasti käyttöön otettu työmaan ulkopuolella tapahtuva esivalmistus voi johtaa vähenyneisiin turvallisuusriskeihin (Said 2015). Blismaksen ym. (2006) mukaan kahtena keskeisenä esivalmistamisen hyötynä ovat terveempi ja turvallisempi työympäristö työmaan aktiiviteettien vähentämisellä ja paremmalla ohjauksella. Pan ym. (2007) toteavat edellä mainittujen lisäksi esivalmistamisen vähentävän ympäristöllistä vaikutusta.

2.3.1.3 Hallittavuus ja ennustettavuus

Kirjallisuuden mukaan modulaarisuudella on mahdollista parantaa projektin, rakennuksen elinkaaren ja variaatioiden hallintaa sekä parantaa ennustettavuutta. Edellä mainittuja hallittavuuteen ja ennustettavuuteen liittyviä seikkoja käsitellään seuraavaksi.

Modulaarisuuteen liittyvillä strategioilla voidaan ratkaista rakentamisen aikaisia projektinjohtollisia ongelmia kuten aikataulu-, laatu- ja kustannushaasteita (Peltokorpi ym. 2018). Modulaarisuuteen vahvasti liittyvällä esivalmistuksella rakennustyön johtaminen on yksinkertaisempaa (Friedman ja Cammalleri 1997). Esivalmistamalla nimittäin voidaan minimoida työmaalla tapahtuvat työvaiheet sekä henkilöstön määrä ja samalla vähentää ruuhkaisia työalueita. Tämän lisäksi esivalmistetut tuotteet soveltuvat hyvin työmaille, joilla on rajattu määrä varastointitilaa. (Blismas ym. 2006)

Modulaarisuuteen liittyvillä strategioilla voidaan ratkaista myös elinkaaren aikaisia haasteita innovatiivisilla ja muuntojoustavilla ratkaisuilla (Peltokorpi ym. 2018; Pero ym. 2015). Modulaarisuuskonseptista rakennuksen elinkaaren aikana saatavia hyötyjä ovat helpompi tuotteen vianmääritys, huolto, korjaus ja käytöstä poistaminen (Kusiak 2002).

Modulaarisuus mahdollistaa myös erilaisten tuotteiden toteuttamisen. Modularisaatiota on luonnehdittu tapana vähentää järjestelmien monimutkaisuutta rakentamalla ne osajärjestelmistä. Rakentamisessa modularisaatiolla tarkoitetaan alikomponenttien, komponenttien ja tilaelementtien hyödyntämistä, mikä osaltaan mahdollistaa massaräätälöityjen rakennusten suunnittelun ja toteuttamisen. (Peltokorpi ym. 2018; Fine 1998, 136) Vaikka modulaarisuudella vähennetään monimutkaisuutta, voidaan erilaisia tuotevariaatioita lisätä massaräätälöinnillä (Kusiak 2002; Pero ym. 2015).

Modulaarisuudella on myös mahdollista parantaa ennustettavuutta rakennusosalalla. Valmistamalla moduuleja etukäteen tehdasolosuhteissa pystytään varmistamaan tarkemmin hankkeen valmistumispäivämäärä sekä kustannukset. Tällä tavoin toimimalla voidaan lisäksi mahdollistaa olemassa olevan liiketoiminnan jatkuvuutta. (Blismas ym. 2006; Pan ym. 2007) Toisaalta modulaarisuuden ansiosta komponentit ja tuotteet soveltuvat paremmin vaihdettaviksi (Kusiak 2002).

Esivalmistuksessa voidaan hyödyntää myös tietomallia (*engl. Building Information Model, BIM*), jonka avulla voidaan jakaa tietoa esimerkiksi valmistettavan rakennustuotteen geometriasta ja materiaalitiedoista valmistusprosessia ennen ja sen aikana (Eastman ym. 2008, 236; Lu ja Korman 2010). ETO tyyppisiin esivalmistaisiin liittyy olennaisena osana monimutkaisia yksityiskohtia, ja näin ollen yhteistyö eri osapuolten kesken on tärkeää. Suunnittelu perinteisillä kaksiulotteisilla tietokoneavusteisilla suunnitteluohjelmistoilla (*engl. Computer Aided Design, CAD*) on virhealtista, suuritöistä ja hidasta. Tietomalli mahdollistaa virtuaalisen rakentamisen, jolloin voidaan välttyä suunnitteluvirheiltä. (Eastman ym. 2008)

2.3.2 Modulaarisuuden haasteet

Kirjallisuudessa esitetään mahdollisuuksien lisäksi modulaarisuuden haasteita. Seuraavaksi esitetään haasteita, jotka liittyvät toistuvuuteen, ymmärrykseen sekä kustannuksiin.

2.3.2.1 Toistuvuus ja aikaisemmat mielikuvat

Modulaarisuudesta mahdollisesti koituvia haittapuolia ovat toistuva fyysinen arkkitehtuuri sekä riski staattisille tuotearkkitehtuureille ja tuotteiden kohtuuttomalle samanlaisuudelle (Kusiak 2002).

Yhtenä merkittävänä ongelmana modulaarisuuden hyödyntämisessä rakentamisessa on asiakkaiden ja alan ammattilaisten tietämättömyys moduuliratkaisuista (Kusiak 2002; Smith 2010, 98). Tietämättömyyden lisäksi puuttuu myös kokemus moduuliratkaisujen käytöstä (Blismas ym. 2005). Joko ei tiedetä moduuliratkaisujen olemassaolosta, tai jotkut epäilevät moduuliratkaisujen soveltuvuutta rakentamisessa. Epäileminen osaltaan johtuu siitä, että kukaan ei ole pystynyt havainnollistamaan modulaarisuuden hyötyjä. (Kusiak 2002; Smith 2010, 98)

Gibbin ja Isackin (2003) mukaan tilaajan aikaisemmat huonot kokemukset ja käsitykset ovat yksi merkittävä este esivalmistuksen käytölle. Esivalmistus ei ole täyttänyt tilaajan asettamia laatutavoitteita. Tilaajan käsityksen mukaan urakoitsijat ovat olleet kokemattomia. Asiakkaan kokemukset siitä, että alkuperäinen suunnitelma ei ole vastannut esivalmistettuja tuotteita tai hankkeet ovat valmistuneet myöhässä, osaltaan estää käyttämästä esivalmistettuja ratkaisuja.

Sen lisäksi, että ala on varsin tietämätön potentiaalisista moduuliratkaisuista, alalta puuttuu työkalut moduulien määrittämistä varten (Kusiak 2002). Blismas ym. (2006) väittävät, että rakennusallalla vallitsee ilmapiiri, jossa kustannushyötyanalyysit perustuvat pelkästään kustannuksiin. Rahassa mitattavia hyötyjä ja haittoja otetaan vain vähän huomioon tai niitä ei huomioida ollenkaan.

Esivalmisteen tietämättömyydestä ja niiden käytön vähäisistä kokemuksista voi olla myös seurauksia. Kusiakin (2002) mukaan modulaarisuudesta mahdollisesti koitua haittapuoli on rakennuksen liiallinen suorituskky johtuen suunnittelusta tiukinta sovellusta varten.

Moduulien suunnittelussa kriittistä on oikean ja riittävän tiedon saaminen. Mikäli moduuleista laaditaan suunnitelmat liian aikaisin ilman riittäviä tietoja, päädytään tilanteeseen, jossa moduulit eivät välttämättä kykene vastaamaan asiakkaan asettamiin vaatimuksiin. (Kusiak 2002)

2.3.2.2 Esivalmistuksesta johtuvat kustannukset

Vaikka esivalmistetuilla moduuliratkaisuilla voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä, liittyy esivalmistukseen myös kustannuksia. Seuraavaksi käsitellään esivalmistuksesta koituvia kustannuksia, joita ovat pysyvät kustannukset, kuljetus- ja asennuskulut ja suunnittelukustannukset.

Tuotantolaitokset työllistävät kokoaikaisesti henkilökuntaa ja näistä koituu kustannuksia kuten välineistön ostaminen ja huoltaminen sekä tilan vuokra (Smith 2010, 83). Tehdastuotannon infrastruktuuri vaatii suuremman investoinnin kiinteisiin valmistustiloihin ja toistuvia

tuotteita, jotta voidaan saavuttaa mittakaavaetuja tuotannossa (Lawson ja Ogden 2010). On otettava huomioon myös se, että esivalmistukseen liittyvä tehdas sitoo pääomaa myös esimerkiksi talvella, jolloin kysyntä on alhainen sekä muina aikoina, jolloin rakentamista tapahtuu vähemmän (Friedman ja Cammalleri 1997).

Esivalmistaminen vaatii enemmän rakentamisen ja valmistajan välistä koordinoimista. Arkkitehdit ja insinöörit voivat laskuttaa työstään korkeampaa hintaa, sillä suunnittelu vaatii enemmän aikaa. (Smith 2010, 83)

Kuljetuskustannukset ovat korkeammat siitä syystä, että esivalmisteiden kuljetuksessa kuljetetaan ennemmin ilmaa, kuin tiiviisti pakattuja työmaalla pystytettäviä materiaaleja ja tuotteita. Vaikka esivalmisteiden paino itsessään ei ole yleensä huolenaihe, voi niiden nostaminen olla hankalaa ja vaatia osaavia työntekijöitä, tai vastuutettuja työryhmiä. (Smith 2010, 83)

Työmaan ulkopuolella toimivien valmistajien, kuten mikä tahansa muukin yritys, on tehtävä voittoa. Jotta voittoa voidaan saavuttaa, on ensin katettava kustannukset. Riskinä on, että pääurakoitsijalle jäävän alhaisen katteen myötä aika- ja kustannussäästöt eivät näy loppuasiakkaalle. (Smith 2010, 83) Modulaaristen ratkaisujen korkeammat kustannukset verrattuna perinteiseen rakentamiseen puoltavat, että tilaaja valitsee perinteisen tavan (Gibb ja Isack 2003).

2.3.3 Vaatimukset modulaarisuuteen liittyen

Sen lisäksi, että modulaarisuudessa liittyy paljon mahdollisuuksia ja haasteita, liittyy konseptiin myös vaatimuksia. Modulaarisuus asettaa vaatimuksia valmistusprosesseihin ja vastaavasti valmistusprosessit asettavat vaatimuksia modulaarisuudelle.

Gannin (1996) mukaan tärkeintä valmistamisessa on se, että osat ovat kokonaisia, johdonmukaisia ja keskenään vaihdettavissa. Tämän lisäksi osien on oltava yksinkertaisia liittää toisiinsa.

Tamin ym. (2007) mukaan modulaarisuuteen vahvasti liittyvä esivalmistaminen tuottaa kustannussäästöjä ainoastaan, mikäli seuraavat kolme ehtoa täyttyvät. Ensiksi, raskaita tehtaita tulee käyttää, ja koko rakennusprosessi tulee olla täysin mekanisoitu. Toiseksi, rakentaminen tulee kääntää enemmän kokoonpanoteollisuudeksi kuin työmaatuotannoksi. Kolmanneksi esivalmisteisissa komponenteissa tulisi käyttää kierrätettäviä materiaaleja.

Gibb ja Isack (2003) tutkivat tilaajan näkemyksiä modulaarisuuteen liittyen. Tarkasteluissa kävi ilmi yhteensä kahdeksan vaatimusta, jotta esivalmistamisesta olisi hyötyä. Tärkeimpänä tutkimuksessa nousi mahdollisuus antaa suunnittelulle aikaa, jotta suunnitelmat soveltuisivat esivalmistamiselle. Seuraavaksi tärkeimpänä nähtiin, että työmaan ulkopuolisille prototyypeille tulee varata aikaa. Kolmantena päävaatimuksena on, että suunnittelun, valmistuksen ja esikokoonpanon läpimenoaika on järkevä. Edellä mainittujen lisäksi painotetaan, että projektissa tulisi olla esivalmistamiseen liittyvää sekä asiantuntemusta että hyvää aikaisempaa kokemusta. Kuudentena vaatimuksena on tilaajan mahdollisuus tarkastaa työmaan ulkopuolisia töitä. Seitsemänneksi painotetaan, että tehtaiden tulisi sijaita taloudellisesti kannattavan kuljetusetäisyyden päässä. Kahdeksantena vaatimuksena mainitaan riittävä nostokalusto ja riittävä työmaalle pääsy.

3 SAIRAALAHANKKEIDEN ERITYISPIIRTEET

Käsitys sairaalasta on muuttunut vuosisatojen aikana. Keskiajalla ne liitettiin pääosin kuolemaan. Jotkin sairaaloista rakennettiin pyhiinvaeltajille, jossa he pystyivät sairastamaan. Tavoitteena sairaaloilla oli suojella terveempiä pyhiinvaeltajia infektioilta ja valmistella sairas kuolemaan. Potilaan englanninkielinen sana ”patient” viittaa kärsivällisyyteen, sillä potilaat odottivat kärsivällisesti tapahtumien etenemistä. (James ja Tatton-Brown 1986, 3)

Sairaalat poikkeavat muista rakennuksista monin eri tavoin. Poikkeavaa on muun muassa tiukka puhtaudenhallinta, korkeat tekniset vaatimukset ja käyttäjien laaja osallistuminen hankkeen aikana. Tässä luvussa käsitellään ensiksi sairaalaan liittyviä teknisiä vaatimuksia. Sen jälkeen tutkitaan sairaalaprojektien erityispiirteitä.

3.1 Tekniset erityispiirteet

Sairaalat ovat teknisesti vaativia tiloja sekä niiden erityisenä piirteenä on puhtaat tilat. Seuraavaksi käsitellään sairaaloihin liittyviä teknisiä vaatimuksia sekä puhtaudenhallintaa rakentamisen aikana.

Hyvä suunnitelma ei ole valinnainen lisä, vaan suunnitelman on sovittava tarkoitukseensa koko elinkaaren ajan ja annettava vastinetta rahalle. Laadukas suunnitelma antaa potilaille turvallisen ympäristön. Hyvin suunnitellut rakennukset mukautuvat nopeasti kehittyviin lääketieteellisiin ja teknologisiin ratkaisuihin. Tämän lisäksi rakennusten on mukauduttava sosiaalisiin muutoksiin ja autettava henkilökuntaa toteuttamaan tavoitteensa. Hyvät suunnitelmat myös johtavat vähempiin rakentamisen virheisiin. (Adebayo ym. 2006)

Keskeistä sairaaloissa on hyvän hygienian ylläpito sekä käytön että rakentamisen aikana. Rakennustöissä syntyvä pöly aiheuttaa infektoriskin elinsiirto- ja hematologisille potilaille sekä leikkaussalissa oleville potilaille (Jokitalo 2012, 10). Seuraavaksi käsitellään sairaalahankkeiden näkökulmasta keskeiset puhtaus- ja sisäilmastoluokitukset. Edellä mainittujen lisäksi seuraavissa alaluvuissa käsitellään sairaalaan liittyviä ilmanvaihto- ja sähköteknisiä vaatimuksia sekä säteilysuojauksia.

3.1.1 Puhtausluokitukset ja ilmanvaihdon vaatimukset

RT-kortin 07-11297 mukaan rakennustöissä on yksi puhtausluokka P1, jota on noudatettava muun muassa rakennettaessa julkisia rakennuksia, kouluja ja päiväkoteja. Luokitukselle on asetettu kaksi tavoitetta. Rakennuksen tilojen tulee olla puhtaat luovutusvaiheessa. Tämän lisäksi rakennuksen käytön aikana sisäilmaan ei tule kulkeutua epäpuhtauksia, joita on syntynyt rakennusvaiheessa. Käyttäjille luovutettaessa tilojen tulee olla puhtaustasoltaan sen mukainen, että ne voidaan ottaa käyttöön heti. (RT 07-11297 2018)

Sairaloissa on yksiä rakennusalan vaativimpia sisäilmastoja. Esimerkiksi leikkaussalien ilman tulee olla aseptista, lämpötilan ja kosteuden tasaista. Edellä mainittujen lisäksi mikrobien kierrätyksen tilassa estämiseksi, tulee ilmanvaihdon nopeus olla suhteellisen hidas. (Balaras ym. 2007) Sairaalan erityistilat on huomioitava puhtaudenhallinnassa sekä rakentamisessa, että käytön aikana.

Tavoiteltaessa myöhemmin esitettäviä S1 tai S2 sisäilmastoluokituksia, on noudatettava puhtausluokkaa P1 (Jokitalo 2012, 18). Sisäilmastoluokituksessa (2018) on määritelty ra-

kennustöiden puhtausluokituksen P1 toteutusohjeet muun muassa rakennusmateriaalien kuljetukselle ja varastoinnille. Sisätiloissa käytettävät materiaalit on suojattava kastumiselta esimerkiksi peittämällä ja pitämällä materiaali irti maasta. Luokituksessa myös kehoitetaan välttämään välivarastointia, ja suositellaan sisätiloihin varastoimista. Rakennustarvikkeiden asennusvaiheen aikana tulee huolehtia ilman puhtaudesta ja kuivuudesta. Esimerkiksi tällöin ei tule suorittaa ilmaa likaaavia työvaiheita lähellä. (RT 07-11297 2018)

Sisäilmastoluokituksia ovat S1, S2 ja S3, joista sairaaloissa keskeisiä ovat S1 ja S2. S1 on yksilöllinen sisäilmasto, jonka ilman laatu on erittäin hyvä. Tilan yhteydessä olevissa tiloissa ei ole hajuja eikä ne tai tilan yhteydessä olevat rakenteet heikennä ilman laatua. Tiloissa tai rakenteissa ei myöskään ole epäpuhtauslähteitä. Lämmöltään tila on oltava viihtyisä, jolloin vetoa tai ylikämpenemistä ei tule olla. Käyttäjän on pystyttävä hallitsemaan tilan lämpöä. (RT 07-11297 2018)

S2 on hyvä sisäilmasto, jonka ilman laatu on hyvä. Tilassa ei ole häiritseviä hajuja. Kuten S1 luokassa, tilaan yhteydessä olevat tilat ja rakenteet eivät heikennä ilman laatua. Lämmöltään tila on hyvä, eikä vetoa tule yleensä esiintyä. S2-luokan tilassa ylikämpenemistä saattaa esiintyä kesäpäivinä. (RT 07-11297 2018)

3.1.2 Sairaalakaasut

Sairaloissa hyödynnetään erilaisia kaasuja hoito-, tutkimus- ja elvytystarkoituksiin. Näitä ovat muun muassa lääkkeellinen ilma, instrumentti-ilma ja lääkkeellinen happi. Edellä mainittuja sairaalakaasuja syötetään usein keskusjärjestelmällä. (Sutinen 2014, 2; Mäenpää 2014, 58)

Sairaalakaasujen kuljetusta varten käytettävät hapettumattomat ja ruostumattomat putkistot eivät saa olla toimitettaessa öljyisiä tai rasvaisia. (Mäenpää 2014, 58) Sairaalakaasuputkistoille suositeltu putkimateriaali on kupari (Sutinen 2014, 42). Sairaalakäyttöön tarkoitetuille kuparisille kaasuputkille on asetettu vaatimuksia standardissa SFS-EN 13348 (2016). Muun muassa putkien sisä- ja ulkopinnat tulee olla puhtaita ja sileitä. Käsiteltäessä ja varastoitaessa kaasuputket on suojattava molemmista päistä esimerkiksi tulpilla. (SFS-EN 13348 2016)

Lääkkeellisellä ilmalla tarkoitetaan väritöntä, hajutonta ja mautonta kaasuseosta, joka vastaa tavanomaista ilmaa. Kaasuseoksella varmistetaan happipitoisuudeltaan normaalin ympäristön ilmaa vastaavan puhtaan kaasun saanti. 21 % happea ja 79 % typpeä sisältävä seos ei ole palava, mutta ylläpitää paloa. Lääkkeellistä ilmaa voidaan joko kuljettaa ja varastoida kaasupulloissa, tai vaihtoehtoisesti syöttää keskusjakelujärjestelmällä, johon kuuluu ilmakompressorijärjestelmiä. (Sutinen 2014, 5; SSTY 2014, 3)

Hengitysilman kaltaista instrumentti-ilmaa käytetään yleensä kirurgisten välineiden käyttövoimana leikkaussaleissa. Instrumentti-ilmaa käytetään paljon, joten sitä suositellaan syötettävän keskusjakelujärjestelmällä. (SSTY 2014, 3)

Lääkkeellistä happea hyödynnetään muun muassa akuutin ja kroonisen hapenpuutteen hoitoon sekä tehohoidossa. Happi on väritön, hajuton, mauton ja myrkytön kaasu, joka ei pala, mutta edistää hyvin voimakkaasti paloa. Sairaloissa lääkkeellistä happea voidaan tuottaa happirikastinjärjestelmillä, tai vaihtoehtoisesti teollisesti tuotettu lääkkeellinen happi tuodaan kaasutehtaasta. (SSTY 2014, 3–5)

3.1.3 Sähkövaatimukset ja säteilysuojaukset

Sairaalatilat vaativat tiettyjä asioita sähköltä. Tietyt hoitotoimenpiteet ovat kriittisiä, ja potilasturvallisuus on aina taattava. Tällaisia toimenpiteitä voi olla esimerkiksi potilastietojen kirjaus, sekä vitalitoimintojen ylläpito esimerkiksi hengityskojein. Tietyissä sairaalan tiloissa vaaditaan siis varavoimaa tai häiriötöntä ja katkeamatonta sähkönsyöttöä. Toisaalta suurimpaan osaan sairaalan tiloja riittää normaali verkko. Sairaalatiloissa käytetään myös säteilyä tuottavia laitteita, joiden turvallinen käyttö osaltaan vaatii sädesuojauksia.

Lääkintätilat jaotellaan kolmeen ryhmään; G0, G1 ja G2. G0 tilassa ei toteuteta sähkökäyttöisillä lääkintälaitteilla sellaisia hoitotoimenpiteitä, joista voisi aiheutua välitöntä hengenvaaraa sähkönsyötön vikatilanteessa. (SFS 6000-7-710 2017) Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi sosiaalitilat, kahvihuoneet ja WC-tilat (Kalliokoski 2011, 9).

G1 luokan lääkintätilassa sähkökäyttöisiä lääkintälaitteita käytetään ihon ulkopuolisesti tai ihon sisäisesti, ellei kyseessä ole luokan G2 soveltamisalue. Lääkintälaitteiden käyttö ei vaaranna potilasturvallisuutta sähkönsyötön häiriötilanteessa. G1 tiloja ovat esimerkiksi potilashuoneet, synnytyssalit ja kuntoutushuoneet. (SFS 6000-7-710 2017)

G2 lääkintätiloissa laitteita käytetään sydämenläheisiin toimintoihin, leikkaussalikäyttöön tai tehohoitoon. Tällöin häiriö sähkönsyötössä voi aiheuttaa välittömän vaaran potilaalle. Tällaisia tiloja ovat muun muassa anestesiatilat, leikkaussalit ja tehohoituhuoneet. (SFS 6000-7-710 2017)

Lääkintätilojen varavoimajärjestelmät (VV-järjestelmä) luokitellaan luokkiin sen perusteella, kuinka nopeasti sähkönsyöttö saadaan palautettua häiriötilanteessa sekunneissa. Nämä luokat ovat 0, 0,15, 0,5, 15 ja >15. (SFS 6000-7-710 2017) Lääkintätilaluokissa G1 ja G2 edellytetään varavoimajärjestelmää (Kalliokoski 2011, 12).

Varavoimajärjestelmän kytkeytyessä enintään 0,5 sekunnin kuluessa on toteutettu joko akustolla, UPS-järjestelmällä tai vastaavalla. Yksittäiseen akustoon saa kytkeä enintään esimerkiksi viisi leikkaussalia valmistelutiloineen, ja akustot on sijoitettava lääkintätilojen ulkopuolelle mahdollisimman lähelle ryhmäkeskusta. 0,5 sekunnin varavoimajärjestelmän on tarvittaessa syötettävä vähintään kolmen tunnin ajan. (SFS 6000-7-710 2017)

Häiriöttömällä ja katkeamattomalla sähkönsyötöllä (*engl. Uninterruptible Power Supply, UPS*) tarkoitetaan järjestelmää, joka syöttää sähköä tasaisella teholla normaalin sähköverkon häiriötilanteissa. Häiriötilanteita voivat olla esimerkiksi lyhyet sähkökatkot, taajuuden vaihtelu ja ylijännite. Sairaalatiloissa UPS-järjestelmää käytetään usein IT-laitteissa kuten potilaan kirjaamispisteissä. (Valkama 2016; Nummijoki 2010, 1; Rashid 2011, 627)

Enintään 15 sekunnin VV-järjestelmään liitetään muun muassa hengitystä ja verenkiertoa ylläpitävät laitteet. Sekä enintään että yli 15 sekunnin järjestelmissä siihen kytkettyjen laitteiden on toimittava vähintään 24 tunnin ajan. Molempien järjestelmien teholähteenä käytetään usein dieselekäyttöistä varavoimakonetta. (SFS 6000-7-710 2017)

Sairaalatiloissa käytetään diagnostiikassa sekä hoidossa säteilyä tuottavia laitteita, mikä on otettava huomioon muun muassa rakenteissa säteilysuojauksin. Esimerkiksi sädehoitokiihdyttimet ja gammakeilahoitolaitteet tuottavat suurienergistä säteilyä. Tällöin on käytettävä

primäärisäteilyn suojuksena jopa kaksi metriä betonia. Vuoto- ja sironneen säteilyn suojuksena voidaan käyttää ohuempaa metrin paksua betonia. Säteihoitotilat sijoitetaan siten, että ennen hoitohuonetta on pitkä käytävä, jossa käännyttään vähintään kerran. Tällä vähennetään ovelle tulevan sironneen säteilyn määrää. Betonin lisäksi erilaisia säteilysuojausmateriaaleja ovat lyijy fotonisäteilyssä, teräs primaarikeilan lisäsuojuksena, parafiini, muovi ja puu neutronisuojausmateriaalina oviin. (Sipilä 2004, 205–207)

3.2 Projektin erityispiirteet

3.2.1 Muutokset sairaalahankkeissa

Rakentamisessa muutos tarkoittaa suunnitelmien, rakennustyön, projektiohjelman tai muita projektin muutoksia olemassa olevista olosuhteista, oletuksista tai vaatimuksista (Sun ja Meng 2009). Sairaalarakennuksille asetetut vaatimukset muuttuvat jatkuvasti. Muutosta voi tapahtua lääketieteellisessä tekniikassa, säännöksissä, terveysalan organisaatioissa ja sen rahoituksessa, väestörakenteessa tai epidemiologisissa malleissa. Suuret sairaalahankkeet suunnitellaan 10-20 vuotta etukäteen, ja niiden arvioitu käyttöikä on yli 40 vuotta. (Olsson ja Hansen 2010) Seuraavaksi käsitellään sairaalahankkeissa esiintyviä muutoksia ja niiden vaikutuksia sairaalarakentamiseen.

Dvir ja Lechler (2004) jakavat muutokset kahteen eri kategoriaan; tavoite- ja suunnitelma-muutoksiin. Tavoitemuutokset vaikuttavat projektin tavoitteisiin, joita muuttavat tietoisesti projektin sidosryhmät. Tavoitemuutokset voivat johtua vaatimusten muutoksista tai siitä, ettei annettuihin vaatimuksiin kyetä pääsemään tietyssä ajassa ja tietyllä budjetilla. Muutettaessa tavoitteita tarvitaan myös muutoksia suunnitelmiin, jotta voidaan saavuttaa päivitetty vaatimukset.

Suunnitelmamuutokset ovat ympäristöstä johtuvia muutoksia, jotka vaikuttavat projektin suunnitelmiin. Tämän tyyppiset muutokset voivat johtua esimerkiksi resurssien puutteesta, myöhästymisistä tai sääolosuhteista. Toisinaan suunnitelmamuutokset ovat huonon suunnittelun tulosta. Suunnitelmamuutokset eivät saa vaikuttaa projektin laajuuteen ja tavoitteisiin. (Dvir ja Lechler 2004)

A. Särkilahden (2017, 80) mukaan muutoksenaiheuttajia sairaalahankkeissa ovat laitteistot ja järjestelmät, käyttäjät, suunnittelu, ulkoinen ympäristö, omistaja, urakoitsijat, toiminnot ja sopimukselliset suhteet. Laitteistosta ja järjestelmistä aiheutuvia muutoksia ovat muun muassa alan jatkuvasta teknologisesta muutoksesta sekä monimutkaisista rajapinnoista laitteiston ja rakennusjärjestelmän välillä johtuvat muutokset. Käyttäjät ovat kiinnostuneita itsestään ja omasta työstään. Tällöin korostetaan oman ryhmän tarpeita. Tämän lisäksi käyttäjillä on paljon valtaa päätöksentekijöinä. Toisaalta käyttäjillä ei ole riittävää tietoa, taitoa ja kokemusta isoista projekteista eikä heillä ole riittävästi aikaa keskittyä suunnitteluun projektin aikaisessa vaiheessa. Käyttäjillä on myös tehtävänä valtava lukumäärä päätöksiä. (A. Särkilahti 2017, 80)

Samanaikainen suunnittelu sekä muiden suunnitelmien muutokset aiheuttavat osaltaan muutoksia. Ulkoisesta ympäristöstä johtuvat muutokset liittyvät odottamattomiin työmaaolosuhteisiin sekä viranomaisiin ja säädöksiin. (A. Särkilahti 2017, 80)

Omistajaan liittyvät muutokset johtuvat esimerkiksi siitä, että sairaala on osana suurempaa hoitoverkkoa. Tämän lisäksi omistajalla ei välttämättä ole riittävää kokemusta rakennuttaja-tehtävistä. Sen sijaan urakoitsijoihin liittyvät muutokset johtuvat muun muassa kustannussäästöistä ja uusista teknologioista. Toimintoihin liittyvät muutokset johtuvat alati muuttuvasta diagnostiikka- ja hoitotrendeistä sekä kapasiteetin ja pohjapiirustuksen tarpeista. Sopimuksellisiin suhteisiin liittyvät muutokset johtuvat esimerkiksi monimutkaisista sopimusrakenteista. (A. Särkilahti 2017, 80)

Muutoksista aiheutuvat vaikutukset voidaan jakaa kahteen luokkaan; ensimmäisen ja toisen asteen vaikutuksiin. Ensimmäisen asteen vaikutukset ilmenevät heti muutoksen tapahduttua. Käyttäjälähtöiset muutokset ja epätehokas IT-työkalujen käyttö voivat johtaa työvaiheiden uudelleen tekemiseen ja siten huonompaan tuottavuuteen (Love ja Edwards 2004). Muutokset suunnitelmissa voivat johtaa vaikeaan ajan- ja kustannustenhallintaan (Olawale ja Sun 2010). Toisen asteen vaikutus ilmenee välillisesti ja myöhemmin. Pahimmillaan sillä on vahingoittava vaikutus projektin kustannuksiin ja aikatauluun. Toisen asteen vaikutuksia ovat muun muassa riidat ja tuottavuuden väheneminen. (Sun ja Meng 2009)

Toisaalta tietomallia käytetään monimutkaisissa projekteissa, kuten sairaalahankkeissa tiedon jakamiseen eri osapuolten välillä. Tietomallin avulla muun muassa muutokset suunnitelmissa voidaan jakaa välittömästi muiden kesken, jolloin tehtävät päätökset voidaan tehdä ajantasaisimman ja tarkimman tiedon mukaan. Tilaajalle voidaan esittää erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja suoraan tietomallilla tarjous- ja suunnitteluvaiheissa. (Neelamkavil 2009; Helminen 2016, 22)

Suunnitelmien yhteensopivuus ennen rakentamista voidaan varmistaa suorittamalla törmäystarkasteluja. Sillä voidaan tarkistaa esimerkiksi eri suunnittelualojen, kuten talotekniikka- ja rakennejärjestelmien keskinäiset törmäykset. Törmäystarkastelut voidaan suorittaa millä tahansa tarkkuusasteella. Törmäykset osaltaan jaetaan niin sanottuihin koviin ja pehmeisiin törmäyksiin. Kovissa törmäyksissä komponentit risteävät fyysisesti, esimerkiksi putki osuu seinään. Pehmeä törmäys tapahtuu, kun jotakin asetettua raja-arvoa ei saavuteta. Tällainen raja-arvo voi olla esimerkiksi, että katon ja ikkunan välillä on oltava vähintään puoli metriä. (Eastman ym. 2008, 216)

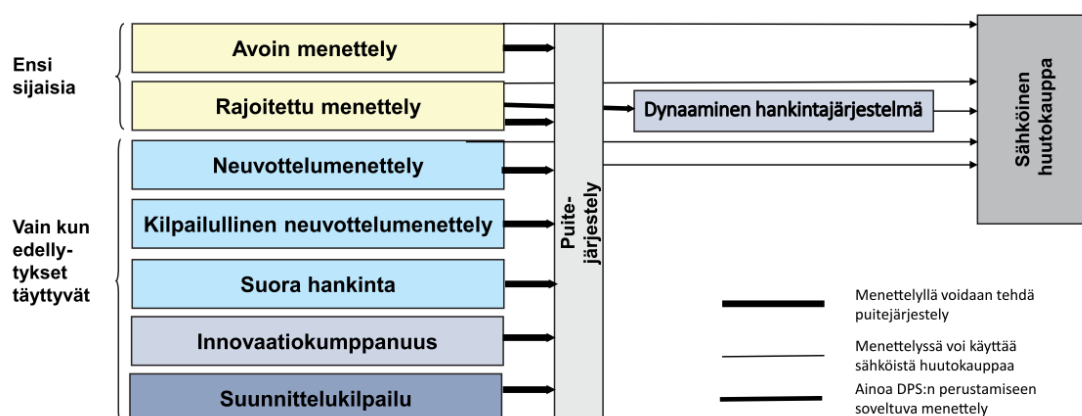
Aikaisessa suunnitteluvaiheessa ei ole saatavilla tarkkaa määrälaskelmaa eri materiaaleista. Hankkeen alkuvaiheessa voidaan tietää esimerkiksi eri tilojen käyttötarkoitukset, niiden pinta-alat ja tilavuudet. Toisaalta nämä tiedot voivat olla riittävät, jotta voidaan suorittaa parametrinen kustannusarvio, mikä perustuu rakennuksen merkittävimpiin parametreihin. Nämä parametrit riippuvat rakennuksen tyypistä, esimerkiksi parkkihallin kustannusarviossa parametreina voidaan käyttää parkkipaikkojen ja kerrosten lukumäärää. Toisaalta suunnittelun edetessä voidaan nopeasti tuottaa yksityiskohtaisempia määrälaskelmia suoraan tietomallista. (Eastman ym. 2008, 218–219)

3.2.2 Julkiset hankinnat sairaalainvestoinneissa

Sairalahankkeet Suomessa ovat usein julkisia hankkeita. Julkisiin hankkeisiin liittyy vahvasti hankintalaki- ja menettely. Seuraavaksi selvitetään hankintalain tavoitteita sekä eri hankintamenettelyjä julkisissa hankinnoissa.

Julkisissa hankkeissa on noudatettava hankintalakia, jolla on kolme päätavoitetta. Ensiksi lailla pyritään käyttämään julkisia varoja tehokkaammin. Toiseksi sillä kannustetaan toteuttamaan laadukkaita, innovatiivisia ja kestäviä hankintoja. Kolmanneksi lain tavoitteena on taata muun muassa yritykselle tasapuolinen mahdollisuus tarjota esimerkiksi rakennusurakoita tarjouskilpailuissa. (2016/1397 §2)

Projektissa käytettävän hankintamenettelyn tulee olla edellä mainitun lain mukainen, ja sen valintaan vaikuttavat hankinnan arvo, kohde, luonne, monimutkaisuus, kokonaiskustannusten peruste, käytettävissä oleva aika, neuvottelutarve, toimittajien lukumäärä ja hankintayksikön asiantuntemus. Eri hankintamenettelyt on havainnollistettu kuvassa 8. (Kuuttiniemi ja Lehtomäki 2017, 138)



Kuva 8 Julkiset hankintamenettelyt. Lähde: Kuuttiniemi ja Lehtomäki 2017, 138

Yksivaiheinen ja selkeä avoin menettely sopii perushankintoihin. Se aloitetaan hankintailmoituksella eikä menettelyssä ole neuvottelumahdollisuutta. Rajoitettu menettely on kaksivaiheinen ja aloitetaan avoimen menettelyn tavoin hankintailmoituksella. Tapa soveltuu tilanteisiin, joissa on tarvetta rajalliseen määrään toimittajia. Rajoitetussa menettelyssä ei ole neuvottelumahdollisuutta. (Kuuttiniemi ja Lehtomäki 2017, 138)

Toisaalta rajoitettu menettely on ainoa tapa, jossa voidaan hyödyntää täysin sähköistä dynaamista hankintajärjestelmää (DPS). Järjestelmällä voidaan hankkia yleisesti saatavilla olevia tuotteita. Rajoitetussa aikaikkunassa auki olevaan hankintailmoitukseen kuka tahansa toimittaja voi tarjota tuotettaan, joka täyttää valintakriteerit, ja joka on lähettänyt alustavan vaatimukset täyttävän tarjouksen. DPS lisää kilpailua, ja virtaviivaistaa julkisia hankintoja mahdollistaen aika- ja kustannussäästöjä. (Özbilgin ja Imamoğlu 2011)

Molemmat neuvottelumenettelyt ovat kaksivaiheisia, ja ne aloitetaan hankintailmoituksella. Neuvottelumenettelyssä toimittajien tarjoukset mukautetaan vastaamaan tilaajan vaatimuksia ilman vähimmäisvaatimuksien tai vertailuperusteiden mukauttamista. Toimittajien antamalla tarjouksella ei ole mahdollisuutta neuvotella, mikä kilpailullisessa neuvottelumenettelyssä on mahdollista. Kilpailullisessa tavassa on myös sallittua hankintaan liittyvien näkökohtien neuvottelu. Kilpailullinen neuvottelumenettely soveltuu tilanteisiin, joissa halutaan löytää tilaajalle parhaiten soveltuva ratkaisumalli. (Kuuttiniemi ja Lehtomäki 2017, 138)

Suorahankinta on yksivaiheinen, ja siinä ei ole pakollista tehdä hankintailmoitusta. Tavassa on mahdollista neuvotella toimittajien kanssa. Suunnittelukilpailussa toimittajat tekevät

suunnitelmat, joista tuomaristo valitsee parhaimman, ja joille voidaan antaa palkintoja. (Kuuttiniemi ja Lehtomäki 2017, 138)

Monivaiheinen innovaatiokumppanuus aloitetaan hankintailmoituksella, ja siinä hankitaan innovatiivinen tavara, palvelu tai rakennusurakka. Innovaatiokumppanuudessa käytetään neuvottelumenettelyä, ja hankintatavassa on mahdollista valita yksi tai useampi toimittaja. Monivaiheisessa tavassa voidaan kunkin vaiheen jälkeen päättää kumppanuus, ja toisaalta kehitystyön tulokset on mahdollista hankkia valitulta toimittajalta suoraan. (Kuuttiniemi ja Lehtomäki 2017, 138)

3.2.3 Sairaalahankkeen eri osapuolet

Aiemmassa luvussa käsiteltiin sairaalahankkeissa käytettäviä eri hankintamenettelyjä. Seuraavaksi käydään läpi sairaalan käyttäjien sekä hankkeen muiden osapuolten roolia projektissa. Kullakin eri toimijalla on merkitystä projektin onnistumisen kannalta.

Rakennushankkeen eri osapuolia usein ovat omistaja/tilaaja, rakennuttaja, pää- ja sivu-urakoitsijat, suunnittelijat, rakennuttajakonsultit, tuote- ja materiaalityöntekijät, viranomaiset sekä käyttäjät (Chan ym. 2004). Osaltaan edellä mainitut osapuolet voidaan jakaa sairaalaprosjekteissa kahteen eri kategoriaan; sisäisiin ja ulkoisiin sidosryhmiin. Sisäisen sidosryhmän jäseniä ovat tilaaja sekä kaikki muut sopimuksellisessa suhteessa tilaajaan olevat. Ulkoisen sidosryhmän jäseniä ovat esimerkiksi virkamiehet ja paikalliset yhteisöt, jotka voivat vaikuttaa projektiin ulkopuolelta. (Ward ja Chapman 2008)

Yksi keskeinen osapuoli sairaalarakennushankkeessa on sairaalan omistaja, joka usein toimii samalla rakennuttajana (A. Särkilahti 2017, 9). Suunnittelijoilla on merkittävä rooli koko hankkeen ajan (Chan ym. 2004). Heidän tehtävänä on muuttaa vaatimukset toimiviksi suunnitelmiksi (Hinze ja Wiegand 1992). Projektin onnistumiseen vaikuttavat suunnittelijaryhmän kokemus, projektin suunnitelmien monimutkaisuus sekä virheet ja viivästykset suunnitelmien tuottamisessa (Chan ym. 2004).

Pääurakoitsija on vastuussa toimittajista sekä aliurakoitsijoista (A. Särkilahti 2017, 9–10). Urakoitsijoiden päävastuu alkaa, kun projekti saavuttaa rakennusvaiheen. Projektin onnistumiseen vaikuttavat urakoitsijan kokemus, työmaan johto, valvonta ja aliurakoitsijoiden osallistuminen, urakoitsijan rahavirta, kustannushallintajärjestelmän tehokkuus sekä tietovirran nopeus. (Chan ym. 2004)

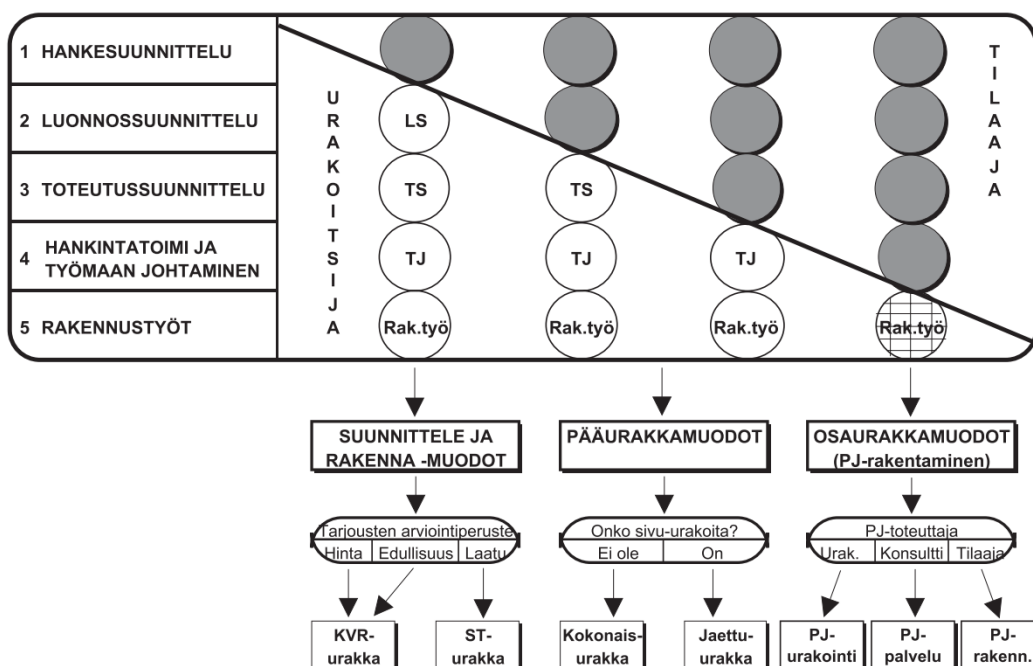
Erityinen piirre sairaalaprosjekteissa muihin hankkeisiin verrattuna on se, että käyttäjät osallistuvat laajasti suunnitteluvaiheessa. Näin ollen heidät voidaan nähdä sisäisenä sidosryhmänä ollen osa tai vähintään sopimuksellisesti riippuvainen omistajaorganisaatiosta. Toisaalta heillä ei välttämättä ole taloudellista osuutta projektissa. Viime vuosina potilaslähtöinen hoito on tuonut potilaat suunnittelun keskiöön. Silti potilas on usein esitetty epäsuorasti eri yhdistysten työn tai ammattilaisten mielipiteiden kautta, ja potilaat itse nähdään ulkoisena sidosryhmänä projektin aikana. (A. Särkilahti 2017, 9–10)

Käyttäjät päättävät mahdollisimman myöhään varmistaakseen parhaimman ja ajantasaisimman ratkaisun. Rakennusprojektissa rakentajat haluavat päättää mahdollisimman aikaisin riskien minimoimiseksi. (Olsson ja Hansen 2010) Edellä mainittu asetelma saattaa osaltaan johtaa luvussa 3.1.2 esitettyihin muutoksiin sairaalahankkeissa.

3.2.4 Tyypilliset projektimallit sairaalahankkeissa

Aikaisemmin tässä työssä käsiteltiin sairaalahankkeisiin tyypillisimmin liittyvät sidosryhmät. Sairaalaprosjekteissa on käytössä erilaisia projektimalleja, jotka tässä diplomityössä jaetaan Peltosen ja Kiiraan (1998, 13) mukaisesti kolmeen pääkategoriaan: suunnittele ja rakenna- (SR), pää- (PU) ja osaurakkamuotoihin (OU) eli projektinjohto-rakentamiseen (PJ). Tämän lisäksi selvitetään yhteisvastuullisia projektimuotoja, joita ovat allianssi ja elinkaari-malli.

Urakkamuotojaottelu perustuu siihen, siirretäänkö tehtävävastuu hankesuunnittelun (HS), luonnossuunnittelun (LS) vai toteutussuunnittelun (TS) jälkeen. Vaihtoehtona on myös, että tilaaja pitää myös hallussaan hankintojen koordinoimisen (PJ). Tämä jaottelu on havainnollistettu kuvassa 9. (Peltonen ja Kiiras 1998, 13)



Kuva 9 Vastuunjakoa havainnollistettuna eri projektimalleissa. Lähde: Peltonen ja Kiiras 1998

3.2.4.1 Projektinjohtomuodot

Projektinjohtomuodoissa (PJ-muoto) projektinjohto ja -suunnittelu on ammattimaista. Tämän lisäksi PJ-muodolle on ominaista yhteistyö sekä pilkotut hankinnat, joista tilaaja lopulta päättää. (Kiiras 2001; Landström 1990, 10) Tilaajalla on suorat sopimukset yksittäisiin pääurakoitsijoihin ja palkkaa rakennuspäällikön konsulttikseen koordinoimaan hanketta (Klee 2015, 58).

PJ-muoto kehitettiin Yhdysvalloissa 1960- ja 1970-luvuilla, jolloin oli tarve toteuttaa monimutkaisia rakennusprojekteja lyhyessä ajassa korkealla laadulla. Tämä tarve johti järjestelmän luomiseen, jossa rakennuspäällikön pätevyys oli ratkaiseva tekijä. Näin ollen PJ-muodossa tilaajan edustajaksi nimitetään rakennuspäällikkö, joka on vastuussa projektin johtamisesta ja koordinoimisesta. Tämän lisäksi PJ-muodoissa limittyvät toteutussuunnittelu, hankinnat ja rakentaminen, mikä osaltaan johtaa lyhyempään hankkeen toimitusaikaan ja pidempään suunnittelun keston. (Klee 2015, 58; Kiiras 2001; Landström 1990, 10)

Toinen hyöty PJ-muodossa nopean toteuttamisajan lisäksi on joustava toteutustapa. Tilaaja voi jokaisen hankinnan yhteydessä päättää suunnitteluratkaisusta ja kustannuksista. (Kiiras 2001) PJ-muodolla rajoitetaan pääurakoitsijan lisämaksuja, jotka rasittavat tilaajaa PU-muodoissa. Maksut urakoitsijoille ovat suoria ilman mitään välikäsiä. Yksittäiset urakoitsijat toteuttavat työvaiheet könttisummaa vastaan sopimuserusteisesti. (Klee 2015, 59)

PJ-muotoja on kolme erilaista; *PJ-urakka*, *-palvelu* ja *-rakennuttaminen*. Kaikki ovat samankaltaisia toiminnaltaan, mutta eivät juridisesti, ja kohteena on eri asiat. PJ-urakka keskittyy rakennustyöhön, ja hankinnat ovat pääurakoitsijan aliurakoita. Hinta on kiinteä palkkion ja laskutettavien hankintojen summa. PJ-palvelussa tarjotaan projektin- ja rakennustyön johtamista korvausta vastaan. Hankinnat tässä muodossa tekee tilaaja. PJ-rakennuttamisessa käytetään joko omaa johtoa tai rakennuttajakonsulttia. Osaurakoinnissa jopa rakennustyön johto hankitaan erikseen. (Kiiras 2001; Liuksiala ja Stoor 2014, 43–45)

Rakennuspäällikkö ei ole vastuussa aliurakoitsijan suorituksesta, mutta vastuussa huolimattomasta johtamisesta. Johtamistaitojen puute ja riittämätön johtaminen ovat esimerkkejä huolimattomasta johtamisesta, jotka johtavat huonoon koordinointiin ja suunnitteluun. (Klee 2015, 59)

Suorituskykyriskit, erityisesti vastuu ajallaan valmistumisesta, on urakoitsijan vastuulla. Tilaajalta vaaditaan suorituskyvytakaukset ja niihin on sisällyttävä esimerkiksi pankkitakauksia, jotka varmistavat projektin ajallaan valmistumisen ja virheiden oikaisemisen siihen varatussa ajassa. Jopa yksi ongelmallinen aliurakoitsija voi aiheuttaa merkittävää vahinkoa ja viivästyttää koko rakennusprojektia. (Klee 2015, 59)

3.2.4.2 Pääurakat

Pääurakkamuodoissa (PU-muoto) rakennuttajalla on suunnittelun osalta merkittävä vastuu, sillä hän kantaa vastuun hankkeen valmistelusta ja toteutuksesta. Rakennuttaja tilaa yleensä toteutussuunnitelmat, jotka urakoitsija toteuttaa kokonaishinnalla. (Kiiras 2001; Klee 2015, 53–54)

Pyytäessään tarjouksia pääurakoitsijoilta rakennuttaja sisällyttää toteutussuunnitelmiin piirustuksia, teknisiä erittelyitä ja määrälaskelmia. Urakoitsija antaa tarjouksen tietyllä hinnalla, johon hän sisällyttää muun muassa syntyvien virheiden riskin. Mikäli tarjous hyväksytään, tästä hinnasta tulee sitova. Tarvittavan työn määrä arvioidaan vastaamaan sen suuruiseksi, että työ voidaan asianmukaisesti toteuttaa. Muotoa kutsutaankin uudelleenmittaus-sopimukseksi (*engl. re-measurement contract*). (Klee 2015, 53–54)

PU-muodolla toteutettavan rakennusprojektin toteutusvaiheessa on yhteensä neljä huomioitavaa seikkaa. Urakoitsija suorittaa työvaiheet sillä aikataululla, kuin ne määrälaskelmissa on määritetty. Hän on myös vastuussa työnsä laatuvaatimusten täyttymisestä sekä suunnittelijan ohjeiden noudattamisesta. Itsenäinen rakennustarkastaja nimetään valvomaan rakennustöitä. Edellä mainittujen lisäksi on huomioitava, että PU-muodossa ei välttämättä tärkein tavoite ole toteuttaa töitä niin nopeasti kuin mahdollista. (Klee 2015, 54)

PU-muodot jaetaan kokonais- ja jaettuun urakkaan (Kiiras 2001). Kokonaisurakassa yksi osapuoli vastaa rakentamisesta. Pääurakoitsija voi teettää erikoistyöt erikoisliikkeellä, ja on vastuussa tilaajalle käyttämisestään aliurakoitsijoista. Jaetussa urakassa tehtävät jaetaan use-

amman urakoitsijan kesken, ja rakennuttaja on valitsemiensa urakoitsijoiden kanssa sopimussuhteessa. Usein valitaan yksi toimittaja pääurakoitsijaksi, joka vastaa rakennusteknisistä töistä, kun muut toimittajat ovat sivu-urakoitsijoita. (Liuksiala ja Stoor 2014, 41–42)

3.2.4.3 Suunnittele ja rakenna –muodot

Edellä käsitelty PU-muodot eivät sisältäneet suunnittelua, vaan niissä rakennuttajan on itse tilattava suunnitelmat ja toimitettava ne urakoitsijalle. Sen sijaan suunnittele ja rakenna -mallissa urakoitsija on vastuussa suunnittelusta, toteutuksesta ja aikatauluttamisesta. SR-muodoissa suunnittelutyön määrä riippuu projektin tyypistä, ja joissakin tapauksissa urakoitsija voi tarjota jopa rakennuslupien hankkimista osana palvelupakettia. (Klee 2015, 54–55)

SR-muodossa on neljä huomioitavaa asiaa. Nämä muodot eivät sovellu projekteihin, joissa on oletettavissa merkittävä määrä muutoksia, jotka ilmenevät toteutusvaiheessa. Toisaalta SR-muodot tarjoavat paremman varmuuden siitä, että tarjoushinta vastaa toteutunutta hintaa. Toisaalta tämä tarkoittaa sitä, että riskit suunnitteluvirheistä ja hinnan virhearvioinneissa on urakoitsijalla. Edellä mainittujen lisäksi SR-malli mahdollistaa hankkeen toteutusvaiheen nopean aloituksen, sillä suunnittelu- ja toteutusvaihe limittyvät. (Klee 2015, 55)

SR-muodot jaetaan kolmeen kategoriaan; laatu-, edullisuus- ja hintakilpailuun. SR-laatukilpailu soveltuu hankkeisiin, joissa on korkeat laatutavoitteet sekä kireä ja kiinteä hinta. SR-laadussa tilaaja asettaa tietyn hinnan tarjouspyyntöön, ja nimensä mukaisesti laadullisesti paras tarjous voittaa kilpailun. Ennen kilpailua tilaajan on nimettävä ja hyväksyttävä tarjousryhmät, joihin kuuluu suunnittelijoita ja urakoitsijoita. SR-laatukilpailussa suunnittelua ohjataan panostamaan laatuun. (Kiiras 2001)

Suunnittele ja Rakenna-edullisuuskilpailu soveltuu projekteihin, joissa ei ole selvitetty vaatimuksia eikä tarkkaa budjettia. Kilpailussa painotetaan hinta-laatusuhdetta, ja tavoitteena voi olla erilaisten yhdistelmien tai uudenlaisten suunnitteluratkaisujen löytäminen. Toisaalta urakointimenettely on johtanut siihen, että hinnat ovat kasvaneet laadun kustannuksella. (Kiiras 2001; Klee 2015, 55)

SR-hintakilpailu soveltuu hankkeisiin, jotka ovat yksinkertaisia ja rutiinimaisia. Suunnittele ja Rakenna-hintamallissa tilaajan on esitettävä helpossa ja täsmällisessä muodossa vaatimuksensa. (Kiiras 2001; Klee 2015, 54)

SR-kilpailut johtavat kuvan 9 mukaisesti kokonaisvastuurakentamiseen (KVR) ja suunnittele ja toteuta-urakoihin (ST). Edellä mainituissa muodoissa urakoitsija on vastuussa rakennuskohteen toteuttamisesta, kokonaiskoordinoinnista ja suunnittelusta. (Liuksiala ja Stoor 2014, 39)

3.2.4.4 Yhteistoiminnalliset urakat

Allianssi on yhteistoiminnallinen järjestely kahden tai useamman organisaation välillä. Järjestelyssä osapuolet allekirjoittavat virallisen sopimuksen, jossa he lupaavat toimia hankkeen parhaaksi. Mallissa sitoudutaan yhteistyöhön, jossa jaetaan sekä riskit että hyödyt. (Jefferies ym. 2014; Klee 2015, 62)

Allianssi soveltuu toteutusmalliksi monimutkaisiin ja/tai kireällä aikataululla toteutettaviin hankkeisiin. Järjestely sopii myös tilanteisiin, joissa on vaikea tunnistaa riskejä järkevästi.

Allianssin toimiessa tehokkaasti projektissa keskitytään itse toteutukseen ja korkeatasoiseen suoritukseen. (Klee 2015, 61)

Mallissa ei ole kiinteää tai maksimihintaa, vaan tavoitekustannus. Kustannukseen sisältyy myös säännöstö katetuotoista. Tarjottaessa tällaista kannustinta pyritään pitämään kustannukset kurissa varsinkin, jos urakoitsijan katteet ovat vaatimattomia ja vaarassa. (Jefferies ym. 2014; Klee 2015, 61)

Allianssissa tilaaja ja eri osapuolet, kuten arkkitehti ja urakoitsija, työskentelevät yhtenäisenä tiiminä toteuttaakseen tietyn projektin sopimuskehyksessä, jossa kaupalliset tavoitteet ovat linjassa itse projektin tavoitteiden kanssa. Kehyksen tavoitteena on jakaa projektin riskit ja hyödyt kaikkien osapuolten kesken. Palkkioita maksetaan erinomaisista suorituksista, ja sanktioita huonoista. (Jefferies ym. 2014; Klee 2015, 61)

Allianssin keskeisenä osana on myös avoimen viestinnän periaate, jonka tavoitteena on auttaa projektia monesta eri näkökulmasta. Periaatteella on tarkoitus auttaa ongelmanratkaisussa. Toisaalta tarkoituksena on helpottaa projektissa tapahtuvia muutoksia poistamalla hallinnollisia ja oikeudellisia kustannuksia. Edellä mainittujen lisäksi tarkoituksena on lisätä taloudellisen onnistumisen todennäköisyyttä. (Jefferies ym. 2014)

Elinkaarimalli on tilapalvelujen hankinta- ja toimitustapa, jonka keskeisenä piirteenä on toimittajan vastuu vähintään suunnittelusta, rakentamisesta ja kiinteistöpalveluista tietyn ajan. Tilaajan kannalta voidaan saavuttaa todennäköisemmin edullisia ratkaisuja siirtämällä riskejä palveluntuottajalle, yhdistämällä tehtäviä, ajattelemalla tavoitekeskeisesti, käyttämällä kilpailumenettelyä, maksamalla palveluista tulosperusteisesti ja solmimalla pitkäaikainen sopimus palveluntuottajan kanssa. (Lahdenperä ym. 2005, 7, 13)

Julkisen ja yksityisen sektorin kumppanuus (*engl. public and private partnership, PPP*) menetelmä kehitettiin, jotta julkisia projekteja voitaisiin toteuttaa yksityisen sektorin rahoituksella ja ammattitaidolla optimaalisesti. Käytännössä menetelmää yleensä käytetään julkisissa investoinneissa tai palveluissa, mitä toteuttaa, operoi tai tarjoaa suoraan yksityinen sektori. Sopimussuhteen päättyessä, siirtyy rakennus julkiseen omistukseen. PPP projekteissa julkinen sektori siten toimii yksityisten urakoitsijoiden johtajana ja valvojana. (Klee 2015, 62)

Julkisissa hankkeissa on viime vuosina käytetty PPP-mallia, koska se ei kuormita budjettia tai lisää julkisen sektorin velkaa suoraan. Toisaalta pitkän ajan vaikutuksia on vaikeaa nähdä ennalta. Suurin hyöty tästä mahdollisuudesta on aloittaa uusia projekteja, joita ei olisi kyetty rahoittamaan ilman yksityisiä resursseja. Negatiivisia vaikutuksia ovat suuremmat kaupan- käyntikustannukset ja tilaajan hallinnan väheneminen. (Klee 2015, 62)

Edellä kuvattujen lisäksi on käytössä hybridimalleja, joissa on yhdistelty eri toteutusmallien piirteitä. Tällaisia ovat esimerkiksi yhteistoiminnalliset PJ-urakat, joissa on allianssimallin piirteitä. Tällöin perinteisenä pidetyssä toteutusmuodossa on mahdollista muun muassa toimivampi yhteistyö. (Lahdenperä 2017, 8)

4 RAKENNUSHANKKEIDEN LOGISTIikka

T. Särkilahden (2011) mukaan rakennusala on tehoton, sillä 30 % käytettävästä työajasta kuluu itse työsuoritukseen, 30 % materiaalien siirtämiseen ja loput 40 % odottamiseen. Alan keskeinen piirre on projektiluontoisuus. Projektioorganisaatio on hyvin usein erilainen, joka saattaa aiheuttaa haasteita tiedonhallinnassa. Työmaat ja niiden toimitusketjut ovat uniikkeja ja vaativat kohdekohtaisia järjestelyjä (Talvitie 2006, 9). Muilla teollisuudenaloilla, varsinkin valmistavassa ja vähittäismyyntiteollisuudessa on tapahtunut suurta kehitystä parantamalla logistiikkaa. Rakennusosalalla olisi myös saavutettavissa 10-30 % säästömahdollisuudet logistiikkaa tehostamalla. (Vähä ym. 2013, 58) Tässä luvussa määritellään ensin rakentamisen logistiikkaan liittyviä käsitteitä, tarkastellaan logistiikkaan liittyvää lainsäädäntöä ja reuna-ehdoja, jaotellaan eri tuotantotavat sekä lopuksi tarkastellaan erilaisia logistiikkaratkaisuja- ja työkaluja.

4.1 Käsitteistön määrittely ja tausta

4.1.1 Logistiikka ja sen tavoite

Wegelius-Lehtonen (2001) määrittelee logistiikan prosessiksi, joka sisältää hankintojen strategista hallintaa, materiaalien siirtämistä ja varastointia sekä osien ja valmiiden tuotteiden varastointia. Tällä prosessilla maksimoidaan organisaation nykyinen ja tuleva kannattavuus toimittamalla tilaukset kustannustehokkaasti. Logistinen näkökulma on vankka perusta tuotavuuden parantamiselle myös rakennusteollisuudessa. Jokainen rakennusprojekti voidaan nähdä tilaus-toimitusprosessina, jossa kaikki logistiikkaketjun osapuolet ovat osallisena. (Wegelius-Lehtonen 2001)

Talvitien (2006, 9) mukaan logistiikka on materiaali- ja tietovirtojen hallintaa sekä optimointia, joita tapahtuu sekä organisaation sisällä että niiden välillä. Materiaali- ja tietovirratt voidaan jakaa kolmeen osaan: yritykseen tuleviin, yrityksen sisällä tapahtuviin ja yrityksestä lähteviin virtoihin. Logistiikkaan kuuluu edellä mainittujen virtojen suunnittelu, toteutus, organisointi, ohjaus, valvonta ja kehittäminen. (Talvitie 2006, 9)

Ritvasen ym. (2011, 20) mukaan logistiikan tavoitteena on asiakastarpeiden tyydyttäminen. Tavoitteeseen päästään hallitsemalla tuotetta tai palvelua sekä siihen liittyvää tietoa ja rahaa. Talvitie (2006, 9) toteaa, että logistiikan tavoitteena on toimittaa oikeat tuotteet, oikeaan paikkaan ja aikaan, oikean laatuksina mahdollisimman alhaisin kustannuksin ja ympäristövaikutuksin.

4.1.2 Logistiikan kolme kategoriaa

Ritvanen ym. (2011, 20–21) jakavat yrityksen logistiikan kolmeen kategoriaan; tulo-, sisä- ja lähtölogistiikkaan. Tulologistiikka sisältää hankintatoimen, tavaran vastaanoton, tarkastuksen, purkamisen ja varastoon sijoittamisen. Sisälogistiikka sisältää materiaalien ja tuotteiden käsittelyä yrityksen sisällä. Lähtölogistiikka tarkoittaa varastosta keräilyä, pakkaamista, lastauslaiturilta eteenpäin lähtevää jakelua sekä kuljetusta, paluulogistiikkaa ja lisäarvopalveluja. Lisäarvopalvelut liittyvät esimerkiksi tuotteiden lajitteluun ja huoltoon.

Naakan (2014, 11) mukaan edellä mainitut kolme eri logistiikan muotoa esiintyvät myös rakennustyömaalla. Tulologistiikka käsittää työmaalle saapuvat materiaali- ja tietovirratt, toimitusten vastaanotot ja purkujärjestelyt. Työmaan sisälogistiikkaa ovat esimerkiksi työmaan

sisällä tapahtuvat materiaalisiirrot sekä varastointi työmaa-alueella. Tähän kategoriaan kuuluu myös työmaan sisällä tapahtuvat tietovirrat. Työmaan lähtölogistiikka kattaa työmaalta pois lähtevät materiaalivirrat, joita ovat esimerkiksi jätteet ja kalustopalautukset.

4.2 Projektien reunaehdot logistiikalle

Rakennushankkeissa vallitsee aina reunaehdot, joista osa vaikuttaa myös logistiikkaan. Reunaehdot voivat liittyä lainsäädäntöön, käytettävissä olevaan tonttimaahan, olemassa olevaan infrastruktuuriin ja muihin sidosryhmiin. Tässä luvussa käsitellään kirjallisuudessa esitettyjä reunaehdot, jotka voivat vaikuttaa logistiikkiin ratkaisuihin.

Jokaisella työmaalla on erilaiset reunaehdot, jotka vaikuttavat rakentamiseen mukaan lukien logistiikkaan. Reunaehtojen luonne riippuu monista eri tekijöistä kuten työmaan sijainnista, työn luonteesta ja työympäristöstä, mahdollisista vaikutuksista työmaan naapureihin ja sosiaalipolitiikasta. Urakoitsijan kyky toimittaa projekti usein riippuu heidän kyvyistään suunnitella ja toteuttaa kestävästä rakentamisen strategiaa alusta alkaen. (Sullivan ym. 2010, 30)

Logistiikka vaikuttaa eniten työmaan toimintaan. Se on myös yksi tärkeimmistä toiminnoista, sillä työvoiman tuottavuusaste riippuu työvälineiden ja materiaalien täsmällisestä toimituksesta, mikä viime kädessä vaikuttaa projektin kestoon. Edellä mainitut toimituksiin vaikuttavat työmaan ja työmaan ulkopuoliset tekijät, kuten esimerkiksi:

- fyysiset,
- lainsäädännölliset,
- ympäristölliset,
- sosiaaliset ja
- taloudelliset reunaehdot.

Nämä reunaehdot edellyttävät tarkkaa logistiikan suunnittelua ja toteutusta. (Sullivan ym. 2010, 31) Seuraavaksi käsitellään lyhyesti rakennusprojekteissa esiintyviä reunaehdot.

4.2.1 Lainsäädäntö ja taloudelliset reunaehdot

Sekä lainsäädäntö että taloudelliset seikat asettavat omat reunaehdot rakentamisen logistiikalle. Esimerkiksi tieliikennelaissa on määritelty eri tyyppisten kuljetusten mittarajat.

ELY-keskus (2017) määrittää normaaliliikenteen ajoneuvon suurimmaksi mahdolliseksi leveydeksi 2,6 metriä, korkeudeksi 4,2 metriä ja pituudeksi kuorma-autolla 12 metriä. Kuorma-auton ja varsinaisen erikoiskuljetusperävaunun normaaliliikenteen mittaraja on 22 metriä. Tämän lisäksi kuljetukset jaetaan kolmeen eri kategoriaan:

1. normaalikuljetus, ”joka ei ylitä normaaliliikenteen mitta- tai massarajoja”
2. erikoiskuljetus, joka ei ylitä vapaita mittarajoja. Tämä kuljetus ei tarvitse erikoiskuljetuslupaa.
3. luvanvarainen erikoiskuljetus, joka ylittää vapaat mittarajat. Tämä kuljetus tarvitsee erikoiskuljetusluvan, joka on reittikohtainen tai tarvitsee reitistöluvan. (ELY-keskus 2017)

Erikoiskuljetuksen vapaassa mittarajassa kuljetuksen suurin leveys saa olla 4 metriä, korkeus 4,4 metriä ja pituus kuorma-autolla 16 metriä. Kuorma-auton ja varsinaisen erikoiskuljetusperävaunun erikoiskuljetuksen vapaa mittaraja on 30 metriä. (ELY-keskus 2017) Nämä asettavat rajoitteita muun muassa sille, kuinka suuri moduuli voi olla. Lisäksi luvanvarainen

erikoiskuljetus on kustannuksiltaan merkittävästi korkeampi, kuin normaalikuljetus, jossa ei tarvita esimerkiksi saattoautoja.

Pääurakoitsijan on laadittava aluesuunnitelma, joka toimii työmaan perussuunnitelmana. Sillä on kaksi päätehtävää: työmaalogistiikan ohjaus ja tiedotusväline hankkeen osapuolille. Aluesuunnitelman laadinta perustuu työmaan sen hetkiseen tilanteeseen, ja suunnitelmaa tarvittaessa päivitetään eri vaiheissa. (VNA 2009/205 §11; Naakka 2014, 15)

Aluesuunnitelmalla pyritään poistamaan sekä vähentämään tapaturmavaaraa ja terveydellistä haittaa. Edellä mainittuja tavoitteita on otettava huomioon muun muassa sijoitettaessa toimisto-, henkilöstö ja varastotiloja. (VNA 2009/205 §11) Aluesuunnitelman laatiminen ja päivittäminen vaatii aikaa, mutta suunnitelma auttaa kaikkia projektin osallisia, ja tuo järjestyä työmaalle (Naakka 2014, 15).

Pääurakoitsijan taloudelliset tekijät vaikuttavat myös logistiikan toteuttamiseen. Voi olla esimerkiksi tilanne, jossa urakoitsijan taloudelliset reunaehdot rajoittavat laitteiden hankkimista ja sijoittamista työmaalle suoritettaviin työtehtäviin. (Sullivan ym. 2010, 31) Edellä mainittuun vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi korkotaso, maksuehdot ja luottoraja. Nämä eivät ainoastaan vaikuta projektin rahavirtaan, vaan myös hankintojen suuruuteen ja niiden ajoitukseen. (Liu ja Wang 2008)

4.2.2 Fyysiset, ympäristölliset ja sosiaaliset reunaehdot

Rakennushankkeen logistiikassa on otettava huomioon työmaan sisäiset ja ulkopuoliset fyysiset reunaehdot. Työmaalla rakennusmateriaalit usein vaativat suurta varastointikapasiteettia, jota harvoin työmaalla on saatavilla. Varastointitilat ovat usein väliaikaisia rakenteita, ja säilytysolosuhteet aiheuttavat vahinkoa materiaaleille. (Agapiou ym. 1998) Tämän lisäksi työmaalla voi olla esimerkiksi kapeita käytäviä tai olemassa olevia rakenteita, jotka vaikeuttavat muun muassa materiaalikuljetuksia. Työmaan ulkopuolella joudutaan ottamaan huomioon tiestöön liittyviä tekijöitä, esimerkiksi matalat sillat ja yksisuuntaiset kadut saattavat vaikeuttaa reittiä työmaalle. (Sullivan ym. 2010, 31)

Haastavimpia ympäristöjä rakennustyölle ovat projektit, joissa tulee rakentaa häiritsemättä ympärillä olevaa muuta toimintaa. Urakoitsija kohtaa merkittäviä logistisia reunaehdot ja rahoituksellisia seurauksia silloin, kun ei voida toteuttaa pysyvää työmaatoimintaa. Tilapäinen työmaatoiminta tarkoittaa usein vähäistä varastointimahdollisuutta ja rakennustöiden tarkkaa suunnittelua ja toteutusta tietyllä aikavälillä, jolloin muu ympärillä oleva toiminta keskeytetään. Ongelman lisäksi asiakas todennäköisesti painottaa aikataulun pitävyyttä ja rakentamisen nopeutta, koska keskeytetty toiminta on kallista. (Sullivan ym. 2010, 31)

4.3 Materiaalin toimitus ja tuotannon ohjaustavat

Työmaalle voidaan toimittaa materiaaleja usealla eri tavalla. Tähän keskeisenä osana liittyy tuotannon ohjaustavat. Samaan rakennettavaan rakennukseen tuotetaan erilaisia rakennustuotteita eri määriä. Näin ollen on tarve toimittaa materiaaleja eri tavoin työmaalle.

4.3.1 Tuotannon ohjaustavat

Tuotannon ohjaustavat jaetaan kirjallisuudessa neljään eri kategoriaan. Tavat on jaoteltu läpimenoajan, toimitusaikavaatimusten ja tarvittavan räätälöinnin määrän perusteella. Toisaalta on huomioitava, että seuraavaksi esiteltävät ohjaustavat ovat karrikoituja luokkia, ja valmistettava tuote voi olla jotakin ohjausmuotojen väliltä.

Tuotannon ohjaustapojen ääripäässä on suunnittelu tilauksesta (*engl. Engineer To Order, ETO*), jossa tuotteet on suunniteltu ja rakennettu asiakkaan vaatimusten mukaan. Toteutusaika voi olla suhteessa pitkä projektiluontoisuuden vuoksi. Rakennusprojektit ovat tyypillisiä tälle kategoriasta. Valmistettu tilauksesta (*engl. Make To Order, MTO*) tuotantotavassa käytetään samaa tuotesuunnitelmaa, mutta lopullinen tuote on yhteydessä asiakkaan vaatimuksiin. Tällöin erilaisten valmistettavien tuotteiden määrä on suuri. Yksittäinen tuote on suhteellisen kallis ja toteutusaika pitkä. Tästä syystä MTO-tuotantotavassa käytetään imuohjausperiaatetta. Tilauksesta valmistettavia tuotteita tekevät esimerkiksi lentokonevalmistajat. (Stevenson 2015, 671; Ritvanen ym. 2011, 48)

Asennettu tilauksesta (*engl. Assemble To Order, ATO*) tuotantotavassa tuotteet asennetaan asiakkaan vaatimusten mukaisesti standardiosista. Toteutusaika on usein suhteellisen lyhyt, mutta toisaalta tuotantotapa sitoo pääomaa varastoon. Ohjaustapojen toisessa ääripäässä on valmistettu varastoon (*engl. Make To Stock, MTS*), joka perustuu ennusteeseen. Tuotteita myydään asiakkaille valmiiden tuotteiden varastosta (*engl. finished goods stock*). Myös tämä tuotantotapa sitoo pääomaa varastoon. Tätä tuotantotapaa käyttävät esimerkiksi ruokakäyt, ja toteutusaika on välitön. (Stevenson 2015, 671; Ritvanen ym. 2011, 48)

4.3.2 Materiaalitoimitukset työmaalle

Edellä kuvatut ohjausmuodot ovat määritelty yleisesti, mutta ovat myös käytettäviä työmaalle saapuvien materiaalien tuotantomuodoissa. Materiaalin toimittamista varten on kehitetty useita erilaisia ratkaisuja, joita seuraavaksi esitellään lyhyesti.

Työmaalla sijaitsevalla pientarvikevarastolla voidaan yksinkertaistaa hankinta- ja laskutusprosesseja. Pientarvikkeiden, kuten ruuvien, helppo saatavuus lisää työn tehokkuutta, sillä työntekijän aikaa ei kulu rautakauppanoutoihin. (Naakka 2014, 20) Pientarvikevarasto voi olla joko toimittajan hallinnoima (*engl. Vendor-Managed-Inventory, VMI*) tai urakoitsijan itse hallinnoima. VMI-muoto on yleinen muilla teollisuudenaloilla, mutta ei rakentamisessa. Urakoitsijan itse hallitessa varaston sisältöä työmaa ei ole riippuvainen yhden toimittajan tuotteista. (Elfving ym. 2010) Näitä pientarvikkeita valmistetaan yleensä varastoon (MTS), sillä niiden tarkkaa kysyntää on vaikea ennustaa, niiden valmistuskustannukset kappaleelta on pienet, ja niiden volyymi on suhteellisen suuri.

Täsmätoimituksissa (*engl. Just In Time JIT*), tai Juuri Oikeaan Tarpeeseen (JOT) toimituksissa materiaalit toimitetaan työmaalle juuri oikeaan aikaan. Materiaali esimerkiksi nostetaan autosta suoraan rakennuksen holville. Toimitustapaa luonnehditaan kirjallisuudessa ideaaliksi, mutta rakennusalalla on omat rajoituksensa. Tietyn kokoiset materiaalit ovat hankalia käsitellä, ja sen myötä otettava työmaan varastoon merkittävästi ennen asennustyötä. Toisaalta, tietyn tyyppiset tuotteet vaativat täsmätoimituksia. Tästä tyypillinen esimerkki rakennusalalla on betonimassatoimitus. (Kiljunen 2009, 16; Naakka 2014, 20) Täsmätoimitettavat materiaalit ja tuotteet joko valmistetaan (MTO), asennetaan (ATO) tai suunnitellaan (ETO) tilauksesta. Tuotettava kappalemäärä materiaalia on huomattavasti vähemmän, kuin mitä olisi esimerkiksi varastoon tuotettavissa ruuveissa. Lisäksi ohjaustavoissa materiaalin jalostusaste on korkeampi ja siten myös valmistuskustannukset korkeammat.

Logistiikakeskuksessa (*engl. Logistics centre*) suoritetaan monia eri logistisia funktioita ja liiketoimintaprosesseja. Määritelmä pääasiassa jakaantuu kahteen eri kategoriaan. Ensimmä-

mäisessä logistiikkakeskusta pidetään osana kuljetusinfrastruktuuria, jossa keskus on keskipisteenä materiaaliavirroille logistiikkaketjussa. Näin ollen se tarjoaa eri toimitustapoja, tekee laajasti erilaisia logistisia toimintoja, palvelee laajaa käyttäjäryhmää, esittää informaatioteknologiaratkaisuja sekä tarjoaa lisäarvoa tuottavia palveluja. Toisessa kategoriassa logistiikkakeskus nähdään kannustimena tehdä liiketoimintaa. Kaikki yritykset eivät kykene rakentamaan omia logistiikkakeskuksia, hankkimaan viimeisimpiä tukevia teknologioita (*kuten ohjelmistoja*) tai johtamistaitoja. (Hamzeh ym. 2007)

Logistiikkakeskus tarjoaa palveluja ilman lisättyä riskiä tai infrastruktuurikuluja. Logistiikkakeskuksella voidaan hallita MTO ja suuria MTS tuotteita parantaen samalla työmaan tuottavuutta. Logistiikkakeskusmallin muita hyötyjä ovat muun muassa työmaalle saapuvien toimitusten vähentyminen, nostokaluston käytön optimoiminen, siirto- ja varastointikustannuksien vähentyminen ja parempi aikataulun hallinta. (Hamzeh ym. 2007; Naakka 2014, 20; Elfving ym. 2010)

Materiaalin toimitustavat havainnollistavat, että samassa rakennushankkeessa on useita eri osatuotteita. Tämä ohjaa käyttämään erilaisia tuotannon ohjaustapoja sekä logistisia malleja. Toisaalta eri osatuotteiden lisäksi myös projektin reunaehdot ohjaavat käyttämään tiettyjä logistisia malleja. Esimerkiksi erittäin ahtaalla työmaa-alueella ei voida aina käyttää pien-tarvikevarastoa.

4.3.3 Toimitusten hallinta ja viestintä

Työmaan virtoihin ei liity ainoastaan materiaaliavirrat, vaan myös informaatiovirrat. Yksi keskeisistä tietovirroista logistiikan näkökulmasta on tiedot materiaalityöimistuksista: mitä toimitukset sisältävät, milloin toimitus saapuu työmaalle, miten ja mihin toimitus puretaan työmaalla. Hyvin toteutetussa rakennushankkeessa jonkun on tätä tietoa hallittava, ja hänen avuksi on kirjallisuudessa esitetty työkaluja.

Vastuuttamalla yksi tietty henkilö työmaan logistiikasta voidaan logistiikkaa hallinnoida paremmin. Logistiikkavastaavan yksi keskeinen tavoite onkin parantaa kokonaisvaltaisesti tehokkuutta. Tässä tapauksessa voidaan myös ostaa logistiikka palveluna siihen erikoistuneilta yrityksiltä, joka mahdollistaa työmaan logistiikkatehtävien ulkoistamisen. (Sullivan ym. 2010, 46; Suutarla 2016, 15)

Logistiikkavastaavan on ymmärrettävä työmaan reunaehdot ja niiden vaikutukset, ja otettava ne huomioon logistiikkaa suunniteltaessa (Sullivan ym. 2010, 34). Hyvä logistiikan suunnittelu vähentää niin kutsuttua 'tulipalojen sammuttamista', joka osaltaan voi kuluttaa projektin resursseja. Näin ollen logistiikkavastaavat voivat vähentää riskejä ja kustannuksia lisäämällä varmuutta, tuottavuutta ja ennustettavuutta. Hyvällä logistiikalla tarkoitetaan keskittymistä kokonaisvaltaisesti käytännön haasteisiin, joissa mahdollisesti kymmenet aliurakoitsijat keskittyvät toimittamaan oman työnsä ja hallitsemaan heidän omat riskinsä. Tehokkuuden kasvattamisessa olennaista on lisätä yhteistyötä kaikkien projektin osapuolten välillä. (Suutarla 2016, 23; Orlo 2006, 14) Osaltaan logistiikkavastaavan haasteisiin on kehitetty työkaluja, joita ovat muun muassa seuraavaksi lyhyesti esiteltävät logistiikkakalenteri ja tietomalli.

Jatkuvalla tuotannon suunnittelulla ja ohjauksella varmistetaan projektien loppuun saattaminen ajallaan. Aikataulun suunnittelua pidetäänkin erittäin tärkeänä tekijänä. Suunnittelua varten työmaiden toimistossa on usein ollut käytössä taulu, johon on merkattu tietyn aikavä-

lin logistiikkatapahtumat. Ongelmana tässä järjestyksessä on, että työmaatoimiston ulkopuolella työskentelevä logistiikkavastaava joutuu kulkemaan työmaatoimiston ja muun työmaan väliä varmistaakseen saapuvien toimitusten aikataulua. Tämän lisäksi muut osapuolet, kuten torninosturikuljettaja, tietävät logistiikkatapahtumista ainoastaan logistiikkavastaavan kautta. (Suutarla 2016, 64)

Verkkopohjaisella logistiikkakalenterilla vältetään edellä kuvatut ongelmat. Kalenteriin merkitään toimituksen saapumisaika työmaalle, purkupaikka sekä mahdolliset tarvittavat purkuresurssit. Tiedot toimituksista on saatavilla reaaliajassa niin tavarantoimittajalle, torninosturikuljettajalle kuin logistiikkavastaavalle. (Suutarla 2016, 64–65)

Tietomallia voidaan hyödyntää logistiikan suunnittelussa ja hallinnassa. Sen avulla voidaan luoda muun muassa työmaan aluesuunnitelma. Suunnitelman luominen on erittäin tärkeä varsinkin suurissa hankkeissa, joissa on ahdas työmaa-alue. Kaikkien työmaalla työskentelevillä saatavilla oleva tietomalli sisältää tiedon työmaan varastoista, purkupaikoista, suurien laitteiden ja torninosturien sijainnista, kulkupaikoista työmaalle, pysäköintipaikkojen ja sisäänkäyntien sijainnista. (Hardin ja McCool 2015, 194–195; Eastman ym. 2008)

Tämän lisäksi työmaan toimivuutta ja sen turvallisuutta voidaan havainnollistaa tietomallin avulla luotavilla 4D-simulaatioilla, joissa kolmiulotteisen ympäristön lisäksi huomioon otetaan aika. Simulaatioilla voidaan havainnollistaa, miten työmaa voi vaikuttaa ympärillä olevaan liikenteeseen, pääsyyn sairaalaan tai muihin kriittisiin seikkoihin. Tietomallilla visualisoidaan esimerkiksi nostopaikat, nostureiden toimintasäteet sekä nostokapasiteetit. (Hardin ja McCool 2015, 194–195; Eastman ym. 2008)

Työmaaturvallisuuteen liittyy pysyvien ja väliaikaisten turvavarusteiden, kuten suojakaiteiden suunnittelua, hankintaa, asentamista ja poistamista. Mallintamalla turvavarusteet voidaan havainnollistaa työmaan turvallisuutta sekä laskea tarvittavien turvavarusteiden määrä. Tietomallin avulla voidaan ohjata poistamaan tilapäisesti tiettyjä turvavarusteita esimerkiksi haalauksia varten. (Hardin ja McCool 2015, 194–195; Eastman ym. 2008; Zhang ym. 2015; Helminen 2016, 21)

5 KIRJALLISUUSTUTKIMUKSEN YHTEENVETO

Tämän diplomityön kirjallisuustutkimuksessa syvennyttiin kolmessa eri luvussa työn kanalta keskeisiin teemoihin, jotka ovat moduulirakentaminen, sairaalahankkeiden erityispiirteet sekä rakennushankkeiden logistiikka. Aiempi kirjallisuus pystyy osittain vastaamaan luvussa 1 esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Lähteet käsittelivät moduuliratkaisuja ja logistiikkaa yleisellä tasolla, eikä suoraa vastausta siihen, miten moduuliratkaisut vaikuttavat suomalaisissa sairaalainvestoinneissa, pystytty löytämään. Seuraavaksi vastataan lyhyesti kirjallisuuden pohjalta työn alussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Luvun lopussa on havainnollistettu taulukossa 4 kirjallisuustutkimuksen tulokset.

TK1: Mitkä moduulit ovat käyttökelpoisia sairaalahankkeissa?

Kirjallisuudessa jaetaan modulaarisuus neljään eri asteeseen, jotka linkittyvät vahvasti esivalmistukseen. Keskeistä moduuleille on se, että ne ovat olennaisia ja omavaraisia yksiköitä, niiden välillä on standardoidut rajapinnat, ja niitä yhdistelemällä voidaan koota isompi kokonaisuus. Vielä ei ole tiedossa, mitä nämä moduulit ovat, ovatko ne käytettäviä, ja jos, niin missä laajuudessa suomalaisissa sairaalahankkeissa.

TK2: Minkälaisia kokonaisvaikutuksia moduulien käytöllä on sairaalainvestoinneissa?

Kirjallisuudesta pystyttiin tunnistamaan positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia moduulien käytöstä, jotka on listattu taulukoihin 1 ja 2. Potentiaalisia positiivisia vaikutuksia ja mahdollisuuksia ovat aikataulu- ja kustannushyödyt, laadun paraneminen, tehostaminen, hallittavuuden ja ennustettavuuden paraneminen. Potentiaalisia negatiivisia vaikutuksia ja haasteita ovat toistuvuus, tiedonpuute, aikaisemmat huonot kokemukset, tehtävät investoinnit ja kustannukset. Vielä ei ole tiedossa, että esiintyvätkö edellä mainitut ja taulukossa 1 esitetyt vaikutukset suomalaisissa sairaalarakennushankkeissa, ja kuinka voimakkaina.

Taulukko 1 Moduulien käytön positiiviset vaikutukset

Vaikutus	Esimerkit
Aikataulu	<ul style="list-style-type: none"> Moduulit valmistetaan työmaan ulkopuolella, jolloin edeltäviä rakennusvaiheita voidaan toteuttaa samanaikaisesti. Siivoamisen tarve vähenee työmaalla.
Kustannus	<ul style="list-style-type: none"> Osaltaan aikataulun lyhentyminen näkyy kustannushyötynä. Kustannushyödyt ilmenevät epäsuorien kustannusten vähenemisenä. Mittakaavaedut
Laatu	<ul style="list-style-type: none"> Modulaariset ratkaisut ovat perinteisiä laadukkaampia. Moduulit ovat parempilaatuisia hallituissa esivalmistusolosuhteissa. Laatua voidaan valvoa tehokkaammin tehdasolosuhteissa.
Tehostus	<ul style="list-style-type: none"> Modulaarisuudella voidaan saavuttaa materiaali-, työ- ja energiatehokkaampia ratkaisuja.
Hallittavuus	<ul style="list-style-type: none"> Työmaalla tapahtuvien työvaiheiden sekä henkilöstön määrän minimointi. Soveltuu hankkeisiin, joissa ei ole paljoa varastointitilaa. Modulaarisuudella voidaan hallita variaatioita ja samalla toteuttaa erilaisia tuotteita massaräätälöinnillä.

Taulukko 2 Moduulien käytön negatiiviset vaikutukset

Vaikutus	Esimerkit
Toistuvuus	<ul style="list-style-type: none"> Fyysinen arkkitehtuuri saattaa toistua samanlaisena.
Tiedonpuute ja aikaisemmat kokemukset	<ul style="list-style-type: none"> Alalla ei tiedetä potentiaalisista moduuliratkaisuista eikä alalla ole työkaluja moduulien määrittämistä varten. Riittäviä tietoja moduulien suunnittelulle ei välttämättä aina ole saatavilla riittävän aikaisessa vaiheessa hanketta.
Investoinnit ja kustannukset	<ul style="list-style-type: none"> Tehdasinvestoinnit ja niihin liittyvät kustannukset Kuljetuskulut Suunnittelukulut Asennuskulut

Vaikutusten lisäksi kirjallisuudesta pystyttiin tunnistamaan modulaarisuudelle erilaisia vaatimuksia, jotta moduuliratkaisuista olisi hyötyä. Nämä vaatimukset on listattu taulukossa 3. Vielä ei ole tiedossa, ovatko taulukossa 3 esitetyt vaatimukset suomalaisissa sairaalarakennushankkeissa oleellisia vaatimuksia.

Taulukko 3 Vaatimuksia moduulien käytölle

Lähde	
Vaatus	Vaatus
Gibb ja Isack (2003):	
Suunnittelulle enemmän aikaa	Työmaan ulkopuolisille prototyypeille aikaa
Asiantuntemusta esivalmistuksesta	Aikaisemmat hyvät kokemukset
Suunnittelun, valmistuksen ja esikokoonpanon järkevät läpimenoajat	Halua ja kykyä tarkistaa työmaan ulkopuolisia töitä
Tehtaiden työvoiman sijainti taloudellisesti kannattavan kuljetusetaisyyden päässä	Riittävä nostokalusto ja riittävä pääsy työmaalle
Tam ym. (2007):	
Raskaiden tehtaiden käyttö, ja koko rakennusprosessin mekanisointi	Rakentaminen käännettävä kokoonpanoteollisuudeksi työmaatuotannon sijasta
Komponenteissa käytettävä kierrätettäviä materiaaleja	
Gann (1996):	
Tuotteiden osat oltava: <ul style="list-style-type: none"> kokonaisia, johdonmukaisia, keskenään vaihdettavissa ja helposti liitettävissä toisiinsa. 	

TK3: Miten sairaalahankkeissa käytettävät moduulit vaikuttavat työmaan logistiikkaan?

Logistiikan suunnittelussa ja toteutuksessa merkittävänä tekijänä on projektissa vallitsevat reunaehdot. Logistiset ratkaisut valitaan reunaehtojen mukaan, kuten käytettävissä olevan varastointitilan mukaan. Lisäksi esimerkiksi tieliikennelaissa asetettu vaatimuksia logistiikalle. Kuljetusten enimmäiskoko voi rajoittaa moduulien suurinta mahdollista kokoa. Tämän kirjallisuustutkimuksen perusteella ei vielä tiedetä, mitä edellä mainitut reunaehdot käytännössä tarkoittavat, ja minkälaisia reunaehtoja esiintyy suomalaisissa sairaalahankkeissa. Myöskään ei tiedetä, miten kirjallisuudessa esitetyt vaatimukset otetaan huomioon käytännön toteutuksessa, ja miten ne vaikuttavat logistiikkaan.

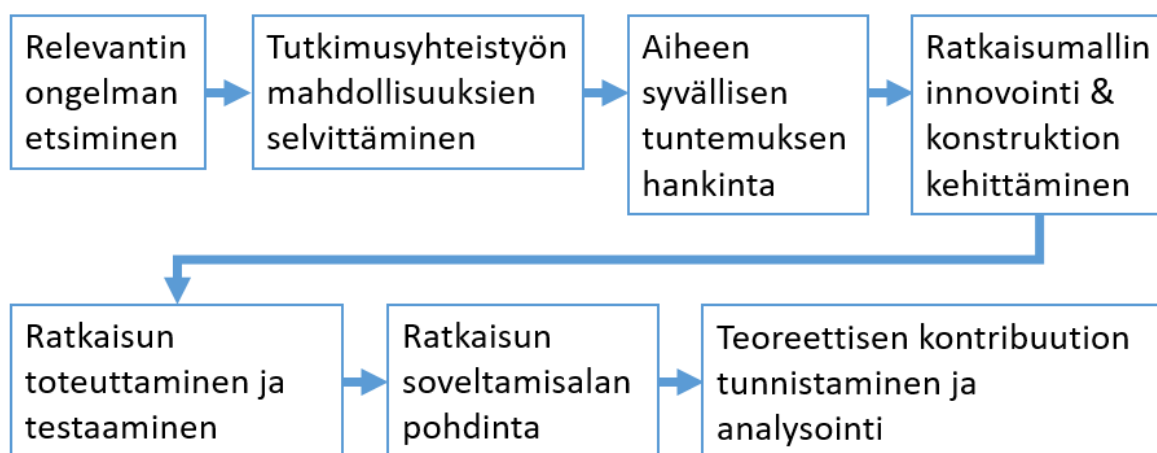
Taulukko 4 Tämänhetkinen tietämys moduuleista

TIEDETÄÄN	AIKAISEMMASSA
KIRJALLISUUDEN PERUSTEELLA	KIRJALLISUUDESSA EI VIELÄ TIETOA
TK1: Mitkä moduulit ovat käyttökelpoisia sairaalahankkeissa?	
Kirjallisuus jakaa modulaarisuuden neljään eri asteeseen, jotka linkittyvät vahvasti esi-valmistusasteisiin.	Mitä nämä moduulit ovat, ja missä laajuudessa niitä käytetään suomalaisissa sairaalahankkeissa?
TK2: Minkälaisia kokonaisvaikutuksia moduulien käytöllä on sairaalainvestoinneissa?	
Tunnistettiin yleisiä hyötyjä, mahdollisuuksia, haittoja ja haasteita modulaarisuudesta.	Esiintyvätkö hyödyt, mahdollisuudet, haitat ja haasteet suomalaisissa sairaalahankkeissa?
Kirjallisuudessa on asetettu useita eri vaatimuksia moduulien käytölle yleisellä tasolla.	Vaatimukset on esitetty yleisellä tasolla, ja onkin tutkittava tarkemmin, pätevätkö samat vaatimukset suomalaisissa sairaalahankkeissa.
TK3: Miten sairaalahankkeissa käytettävät moduulit vaikuttavat työmaan logistiikkaan?	
Logistiikalle on asetettu vaatimuksia esimerkiksi tieliikennelaissa kuljetuksen koolle.	Miten vaatimukset otetaan huomioon käytännön toteutuksessa, ja miten ne vaikuttavat logistiikkaan?
Logistiikan suunnitteluun ja toteutukseen vaikuttavat merkittävästi projektissa vallitsevat reunaehdot.	Mitä nämä reunaehdot käytännössä tarkoittavat, ja minkälaisia reunaehtoja esiintyy suomalaisissa sairaalarakennushankkeissa?

6 MENETELMÄT

Tässä työssä hyödynnetään konstruktiivista tutkimusotetta, joka on havainnollistettu kuvassa 10. Teorian ja tulosten pohjalta on tarkoitus luoda viitekehys, jota voidaan hyödyntää moduuliratkaisujen valinnassa sairaalahankkeissa, erityisesti rakentamisen logistiikan näkökulmasta. Konstruktiivisessa tutkimusmenetelmässä pyritään ratkaisemaan reaalimaailman ongelmia luomalla innovatiivisia konstruktioita. Tällä tavoin menetelmä antaa oman panoksensa sovellettavalle tieteenalalle, mikä tässä tutkimuksessa on työn lopussa esitettävä viitekehys. (Lukka 2014)

Konstruktiivisen tutkimusmenetelmän tulos, konstruktio, on abstrakti käsite. Lopputuloksena voi olla mikä tahansa keksitty ja kehitetty tuotos, esimerkiksi diagrammi, suunnitelma, organisaatorakenne, kaupallinen tuote tai tietojärjestelmä. Uudella konstruktiolla kehitetään uutta todellisuutta. (Lukka 2014)



Kuva 10 Konstruktiivinen tutkimusprosessi Lähde: Lukka 2014, muokannut Juhani Narko

Tutkimusaiheen syvällisen tuntemuksen hankkimiseksi ja ratkaisumallin innovoimiseksi, tässä tutkimuksessa hyödynnetään empiirisenä tiedonkeruumenetelmänä monitapaustutkimusta (Anttila 2014). Monitapaustutkimuksen tulokset ovat usein vankempia kuin yksittäisen tapaustutkimuksen (Yin 1994, 45). Tapaustutkimuksella on tarkoitus selittää reaalimaailman monimutkaisia syy-seuraussuhteita, jotka muilla tutkimusmenetelmillä olisi liian vaikeita ratkaista (Yin 1994, 15). Tässä tutkimuksessa onkin tarkoitus selvittää moduuliratkaisujen vaikutuksia, jotka eivät ole aina yksiselitteisiä. Seuraavaksi käsitellään tässä työssä käytettyjen viiden tapaustutkimuskohteen valinta. Sen jälkeen käydään läpi tutkimuksessa käytetyt tiedonkeruu- ja analysointimenetelmät.

6.1 Tutkimuskohteiden valinta

Tutkimuskohteiksi valittiin viisi tapausta, joista kukin käsittää yhden sairaalarakennushankkeen. Tavoitteena on, että hyödynnetyt moduuliratkaisut ovat kussakin valitussa hankkeessa erilaisia, ja niiden käyttö johtaa siten erilaisiin vaikutuksiin ja logistisiin ratkaisuihin.

Neljä tapauskohdetta on Suomessa ja yksi Ruotsissa. Tutkimukseen valikoitui tarkoituksella erityyppisiä rakennuksia, jotta myöhemmin esiteltävästä viitekehyksestä tulisi mahdollisimman luotettava. Tapauskohteiden välillä on eroja toisiinsa sijainnissa, koossa, hankemuodossa, tilaajaorganisaatiossa, käytettävissä esivalmisteissa sekä logistiikkaratkaisuissa. Tämän lisäksi kukin hanke on joko juuri valmistunut tai käynnissä oleva. Hankkeiden valintaan

vaikutti niiden erilaisuuden lisäksi mahdollisuus haastatella hankkeiden keskeisiä henkilöitä. Tapaustutkimuskohteiden perustiedot on esitetty taulukossa 5.

Kussakin tapauskohteessa tutkittiin kolmea pääteemaa. Ensiksi, tapauskohteissa tutkittiin hankkeissa käytettyjä moduuleja sekä niiden valintaan ja poissulkemiseen liittyviä tekijöitä. Toiseksi tutkittiin moduulien vaikutuksia sairaalahankkeissa. Kolmanneksi tutkittiin hankkeiden rakentamisen logistisia ratkaisuja ja haasteita.

Kussakin hankkeessa oli tutkimuksen pääteemojen kannalta mielenkiintoisia erityisiä piirteitä. Hankkeessa 1 käytettiin käytäville asennettavia talotekniikkamoduuleja, kun hankkeessa 2 havaittiin työmaan vaikutuksia olemassa olevaan sairaalaan. Hankkeessa 3 leikkaussalit toteutettiin moduuleina ja avaimet käteen-periaatteella. Hankkeet 4 ja 5 olivat logistisesti erityisen haastavia, sillä ne sijaitsivat vilkkaalla ja ahtaalla kampusalueella.

Taulukko 5 Tapaustutkimuskohteet

Hanke	Sijainti	Kokoluokka (brm ²)	Sairaala-tyyppi	Hankemuoto	Hankkeen valinnan kannalta erityispiirre
Hanke 1	Ruotsi	330 000	Yliopisto-sairaala	Elinkaari	Kokemukset talotekniikkamoduuleista
Hanke 2	Pohjois-Suomi	46 000	Keskus-sairaala	Allianssi	Työmaan vaikutukset olemassa olevaan sairaalaan
Hanke 3	Varsinais-Suomi	16 000	Yksityinen	Tavoitehintainen projektinjohtourakka	Kokemukset leikkaussalimoduuleista
Hanke 4	Etelä-Suomi	70 000	Yliopisto-sairaala	Yhteistoiminnallinen projektinjohtourakka	E erityisen vilkkaan kampusalueen logistinen haastavuus
Hanke 5	Etelä-Suomi	48 000	Yliopisto-sairaala	Jaettu urakka	E erityisen vilkkaan kampusalueen logistinen haastavuus

6.2 Tiedonkeruumenetelmät

Tapaustutkimuskohteista kerättiin tietoa pääosin teemahaastatteluin liitteiden 1, 2 ja 3 haastattelurunkojen perusteella. Haastattelut nauhoitettiin ja litteroitiin, joka mahdollisti aineiston tarkemman analysoinnin. Tutkimusta varten haastateltiin yhteensä 12 henkilöä, joista kahdeksan on rakentajia, kaksi tilaajan edustajaa, yksi kehittäjä sekä yksi hankintahenkilö (ks. Taulukko 6). Kaksi viimeiseksi mainittua henkilöä (N5 ja N6) eivät liittyneet tutkittaviin tapaustutkimuskohteisiin, mutta kyseisten haastattelujen avulla saatiin selvitettyä logistiikkatyökalujen kuten logistiikkakalenterin toimintaa sekä moduulien hankintaan liittyviä seikkoja.

Taulukko 6 Tutkimustyön haastattelut

Haastattelu	Tapauskohde	Rooli	Organisaatio	Kesto (min)
N1	Hanke 1	Talotekniikkapäällikkö	Pääurakoitsija	128
N2	Hanke 4	Projektipäällikkö	Tilaja	65
N3	Hanke 2	Työmaapäällikkö	Pääurakoitsija	91
N4	Hanke 2	Logistiikkavastaava	Pääurakoitsija	91
N5	-	Kehitysinsinööri	Pääurakoitsija	59
N6	-	Tuoteryhmäjohtaja	Pääurakoitsija	58
N7	Hanke 3	Vastaava mestari	Pääurakoitsija	50
N8	Hanke 3	Tuotantoinisinööri	Pääurakoitsija	$72 + 14 + 9 = 95$
N9	Hanke 4 & 5	Projektipäällikkö	Pääurakoitsija	$37 + 52 = 89$
N10	Hanke 4 & 5	Työmaapäällikkö	Pääurakoitsija	$37 + 52 = 89$
N11	Hanke 2	Projektijohtaja	Pääurakoitsija	41
N12	Hanke 1	Talotekniikkapäällikkö	Pääurakoitsija	71
N13	Hanke 3	Yksikön päällikkö	Tilaja	110

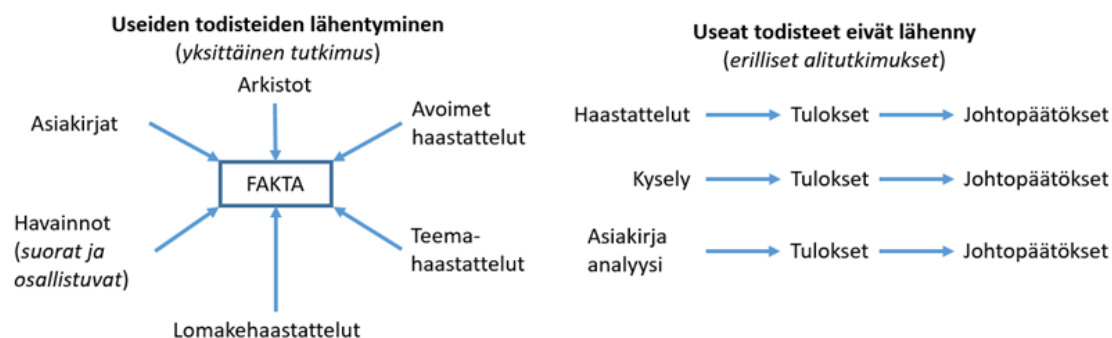
Teemahaastattelujen lisäksi oli käytettävissä muuta aineistoa (Taulukko 7). Osana tutkimusta suoritettiin työmaavierailuja hankkeiden 2, 3, 4 ja 5 työmailla, ja kyseisissä hankkeissa havainnoitiin sekä vahvistettiin muun muassa haastateltavien näkemyksiä. Työmaavierailuilla otettiin myös kuvia. Jokaisesta tapaustutkimuskohteesta käytettiin julkisesti saatavilla olevia internet-sivuja. Haastateltavilta saatiin suunnitelmia hankkeista 2, 3, 4 ja 5. Haastatteluissa hankkeisiin 1, 2 ja 3 liittyen saatiin nähtäväksi esitysmateriaalia. Edellä mainittujen lisäksi käytettiin hankkeen 3 toteutunutta yleisaikataulua, logistiikkaohjeita sekä tutkimushankkeen loppuseminaaria.

Taulukko 7 Tutkimustyössä käytetty aineisto tapaustutkimuskohteittain

Tapauskohde	Aineisto
Hanke 1	<ul style="list-style-type: none"> • Kaksi haastattelua • Esitys hankkeeseen liittyen • Julkiset internet-sivut
Hanke 2	<ul style="list-style-type: none"> • Kolme haastattelua • Esitys ja vierailijaperehdytys hankkeeseen • Kuvia työmaalta • Julkiset internet-sivut
Hanke 3	<ul style="list-style-type: none"> • Kolme haastattelua • Esitys ja vierailijaperehdytys hankkeeseen • Aluesuunnitelmia projektin eri vaiheista • Logistiikkaohje • Ohje työmaalle saapumisesta ja purkupaikoista • Toteutunut yleisaikataulu • Varastointi- ja suojausohje • Tutkimushankkeen loppuseminaari sekä sen esitykset • Kuvia työmaalta • Julkiset internet-sivut
Hanke 4	<ul style="list-style-type: none"> • Kolme haastattelua • Kuvia työmaalta • Suunnitelmia • Julkiset internet-sivut
Hanke 5	<ul style="list-style-type: none"> • Kaksi haastattelua • Kuvia työmaalta • Julkiset internet-sivut

6.3 Analysointimenetelmät

Tässä työssä käytetään aineisto- ja menetelmätriangulaatiota analysointimenetelminä. Sen avulla voidaan käsitellä laajemmin historiallisia, asenteellisia ja käytöksellisiä asioita. Näiden lisäksi triangulaatiolla voidaan korjata mahdollista luotettavuusvirhettä, joka johtuu yksittäisen tutkimusmenetelmän yksittäisestä näkökulmasta. Tärkein hyöty eri tyyppisten lähteiden käytössä on sen kokoava luonne (Kuva 11). Mikä tahansa löydös tai johtopäätös tapaustutkimuksessa on suurella todennäköisyydellä vaikuttavampi ja todennäköisempi, jos se perustuu useaan eri lähteeseen. (Yin 1994, 91–93; Eskola ja Suoranta 1998, 69)

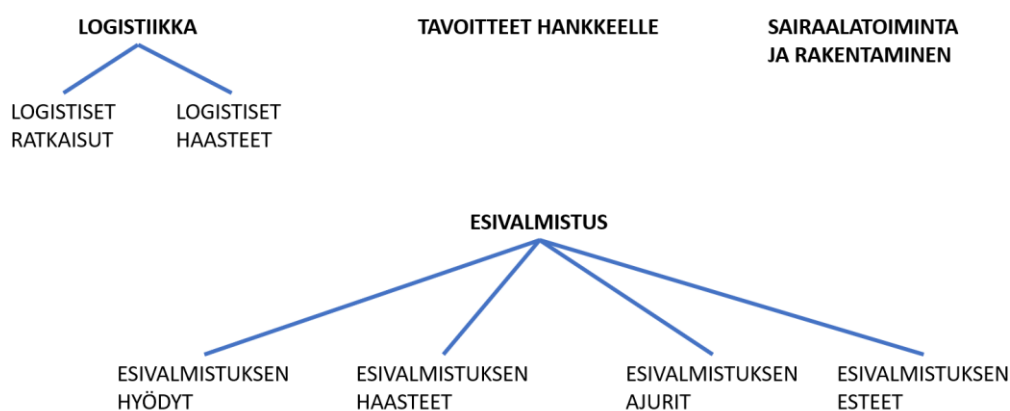


Kuva 11 Triangulaation havainnollistaminen menetelmänä. Lähde: Yin 1994, 93, muokannut Juhani Narko

Analysointimenetelmänä työssä on käytetty myös teemoittelua. Kuvan 12 mukaisesti teemat on jaoteltu neljään eri luokkaan, joista osa luokista jakaantuu alaluokkiin. Ensimmäinen pääluokka logistiikka jakautuu logistisiin ratkaisuihin ja haasteisiin. Toinen pääluokka esivalmistus jakautuu sen hyötyihin, haasteisiin, ajureihin sekä esteisiin. Hankkeelle asetettu tavoite on kolmas pääluokka, ja neljäs pääluokka on sairaalatoiminta ja rakentaminen.

Teemoitteluanalyysi jaettiin neljään eri vaiheeseen; kuvaus, luokittelu, yhdistely ja tulkinta. Ensiksi tarkasteltava ilmiö sijoitettiin kontekstiin kuvaamalla henkilöitä, tapahtumia, kohteiden ominaisuuksia ja piirteitä. Toiseksi, luokittelemalla luotiin pohja yksinkertaistamiselle. Tämän avulla voitiin vertailla aineiston osia keskenään. Litteroiduista haastatteluista on poimittu kohtia, jotka on asetettu tiettyyn luokkaan. (Hirsjärvi ja Hurme 2001, 143–152)

ANALYYSISSÄ KÄYTETTÄVÄT LUOKAT



Kuva 12 Teemojen luokkajako

Kolmanneksi teemoittelussa käytettiin aineiston yhdistelyä, jolloin havaittiin muun muassa säännöllistä toistuvuutta. Esimerkiksi useassa tapaustutkimuskohteessa havaittiin logistisena haasteena ahdas työmaa-alue. Toisaalta yhdistelyssä havaittiin myös säännönmukaisesti vaihtelua ja poikkeamia. Esimerkiksi kaikissa hankkeissa ei ollut samanlaisia esivalmistusratkaisuja käytössä, tai että niistä saatavat hyödyt olisivat olleet samoja hankkeiden välillä. Tämän lisäksi voitiin havaita yhteyksiä luokkien välillä. Esimerkiksi voitiin havaita esivalmistesten hyötyjä, jotka osaltaan liittyivät logistiikkaratkaisuun. Näin ollen voitiin yhdistää edellä mainitut luokat esivalmistesteiksi osana logistiikkaratkaisua. (Hirsjärvi ja Hurme 2001, 143–152)

Neljänneksi teemoittelussa tulkittiin aineistoja koko tutkimusprosessin ajan. Litteroiduista haastatteluaineistoista tunnistettiin aiemmin määritellyt luokat. Luokkien avulla pystyttiin tunnistamaan samoja teemoja eri tapauskohteiden välillä. Tulkitsemalla aineistoja saatiin kokonaisvaltaisempi ja rikastuttavampi kuva tapauskohteista. (Hirsjärvi ja Hurme 2001, 143–152) Työkaluna analysoinnin apuna käytettiin ATLAS.ti sovellusta, jonka avulla voitiin kuvata riippuvuussuhteita eri teemojen välillä.

7 ANALYYSI JA TULOKSET

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen tulokset. Ensiksi esitellään tapaustutkimuskohteet, jonka jälkeen käsitellään kohteissa esille tulleita esivalmisteita ja niiden kokonaisvaikutuksia. Toiseksi käsitellään hankkeiden logistiikkaa, ja viimeisenä on tulosten yhteenveto. Tulosten synteinä muodostetaan lopulta viitekehys moduuliratkaisujen hyödyntämisestä sairaalahankkeissa luvussa 8.

7.1 Tutkimuskohteiden tuotannolliset lähtökohdat

7.1.1 Hanke 1

Hanke 1 on Ruotsissa sijaitseva sairaalakampus, joka rakennettiin vuosina 2010-2017. Sairaala-alueella on muun muassa yli 30 leikkaussalia ja 700 vuodepaikkaa. Hankkeen rakennusten bruttoala on 320 000 brm². Hanke toteutettiin elinkaarimallilla, ja pääurakoitsijan vastuu tiloista jatkuu yli 20 vuotta.

Hankkeessa oli käytössä piha-alueilla hyvin rajallinen määrä varastointitilaa. Tämän lisäksi ahdas kaupunkirakenne aiheutti sen, että hankkeessa oli käytössä työmaan ulkopuolisia varastointitiloja. Logistiikasta vastasivat pääurakoitsijan logistiikkatyönjohtajan lisäksi erilliset logistiikka- ja telineurakoitsijat. Tämän lisäksi toteutusta oli tukemassa vartiointiliike, jonka tehtävänä oli valvoa työmaalle saapuvia toimituksia.

Rakennettava sairaala koostuu seitsemästä osasta, ja sijoittuu toiminnassa olevan sairaalakampuksen välittömään läheisyyteen. Tämän lisäksi lähialueella rakennettiin samanaikaisesti uutta moottoritietä. Sairaalakampus ja tieprojekti oli huomioitava logistiikan suunnittelussa ja toteutuksessa. Esimerkiksi työmaan henkilöstö kulki toiselta puolelta työmaata, ja materiaalivirta toiselta puolelta.

7.1.2 Hanke 2

Hanke 2 on Pohjois-Suomessa sijaitseva keskussairaala, jonka rakentamiselle on useita syitä. Ensiksi, sairaala tulee palvelemaan alueensa noin 80 000 ihmistä. Palveluiden säilyminen alueella nähtiin tärkeäksi, sillä muihin vastaavaa hoitoa antaviin sairaaloihin on suhteettoman pitkä matka. Toiseksi, uusi sairaala rakennetaan, jotta tilat saadaan nykyisten toiminnallisten ja teknisten vaatimusten mukaisiksi. Kolmanneksi, on tarkoitus tehostaa resurssien käyttöä parantamalla tuottavuutta ja alentamalla elinkaarikustannuksia.

Uusi sairaala tulee suurelta osin korvaamaan vanhan sairaalan. Vanha tornisairaala esimerkiksi puretaan myöhemmin pois. Jäljelle vanhoista tiloista jää saneerattava ensiapuosasto. Valmistuessaan sairaalassa on 6 leikkaussalia ja 200 vuodepaikkaa. Sairaalan bruttoala on 46 000 brm². Hankkeen suunnittelu ja rakennustyöt ajoittuvat 2015-2019. Tilat valmistuvat arvion mukaan vuoteen 2021 mennessä. Hanke toteutetaan allianssimallilla, jonka keskeisenä piirteenä on yhteisvastuullinen projektitoteutus.

Hankkeessa on muihin tapauskohteisiin verrattuna kohtuullisesti tilaa työmaalla. Tämän lisäksi välittömässä läheisyydessä on kenttä, jonne välivarastoidaan esimerkiksi julkisivuelementtejä. Rakennettava sairaala on mäen päällä, joka on otettava huomioon erityisesti talvella tien kunnossapidossa.

Uusi keskussairaala rakennetaan toiminnassa olevan sairaalan viereen, mikä on otettava huomioon työmaalla eri työvaiheissa, logistiikan suunnittelussa ja sen toteutuksessa. Räjätystöistä sekä niihin liittyvistä muutoksista on ilmoitettava etukäteen. Melua, pölyä ja tärinää on vältettävä silloin, kun sairaalassa tehdään erityisiä hoitotoimenpiteitä. Tällaisia ovat esimerkiksi unitutkimukset. Pölyn leviämisen estämiseksi on asennettu lisäsuodattimia toiminnassa olevan sairaalan IV-koneisiin. Työmaan materiaalivirrat on suunniteltava tarkasti, jotta häiriötä sairaalalogistiikkaan tapahtuisi mahdollisimman vähän. Esimerkiksi työmaan logistiikan on aina väistettävä ambulanssiliikennettä. Materiaalivirta työmaalle tapahtuu yhden kadun kautta, jota sairaalaliikenne ei pääsääntöisesti käytä.

7.1.3 Hanke 3

Hanke 3 on tämän tutkimuksen ainoa yksityinen tapauskohde muiden ollessa julkisia hankkeita. Varsinais-Suomessa sijaitseva sairaalan bruttoala on noin 16 000 brm², joista sairaalan käyttöön tulee noin 9 000 brm². Rakentaminen ajoittui vuosille 2016-2018, ja hanke toteutetaan tavoitehintaisena projektinjohtourakkana. Rakennushanke koostuu kahdesta osasta; päärakennuksesta ja parkkihallista. Parkkihallin paalutusvaiheessa on huomioitu mahdollisuus kahdelle 16-kerroksiselle rakennukselle kannen päälle.

Hanke poikkeaa muista tässä työssä tutkittavista hankkeista, sillä sen välittömässä läheisyydessä ei ole toiminnassa olevaa sairaalaa. Toisaalta, tontin rajat ovat samat kuin rakennuksen rajat, jolloin työmaa-alue on todella ahdas. Materiaali virtaa työmaalle käytännössä pistonomaisesti, eikä ylimääräistä varastointitilaa ole. Vaikka hankkeen välittömässä läheisyydessä ei ole sairaalaa, sijaitsee rakennettava yksityinen sairaala ahtaalla kaupunkialueella, ja naapurit on huomioitava rakentamisen aikana. Esimerkiksi väistöreitit tulee suunnitella sekä räjäytystöistä ilmoittaa etukäteen.

7.1.4 Hanke 4

Hanke 4 on Etelä-Suomeen rakennettava yliopistosairaala, joka liitetään toiminnaltaan ja tiloiltaan ympärillä oleviin sairaaloihin. Valmistuessaan se pitää sisällään 16 leikkaussalia ja yhdessä olemassa olevan leikkaussaliosaston kanssa muodostaa yli 30 leikkaussalin kokonaisuuden. Rakennettaviin tiloihin tulee päivystyksen ja teho-osaston tiloja, jotka yhdistyvät olemassa oleviin vastaaviin tiloihin. Hanke toteutetaan yhteistoiminnallisena projektinjohtourakkana, jolloin suunnittelijat ovat tilaajan nimissä. Hankkeen bruttoala on noin 70 000 brm² ja hyötyala noin 33 000 hym². Rakentaminen tapahtuu vuosina 2018-2022.

Hanke sijaitsee erittäin ahtaalla ja vilkkaalla kampusalueella, ja rakentaminen vaatii toimenpiteitä myös nyt alueella toimivalta sairaalakannalta. Leikkaussaliosaston ilmanvaihtoon asennetaan lisäsuodattimet. Tämän lisäksi räjäytystyöt pakottavat levyttämään ikkunoita umpeen. Räjätystöistä on ilmoitettava toiminnassa olevalle sairaalalle etukäteen, sillä räjäytyksen aikana ei voida tehdä tietyn tyyppisiä hoitotoimenpiteitä. Näitä ovat esimerkiksi kuvantamislaitteilla tehtävät kuvaukset. Uusi sairaala liittyy osittain muuhun sairaalakantaan kiinni, jolloin on otettava huomioon muun muassa rajapinnat jo toiminnassa olevaan sairaalaan. Tämän lisäksi alueella on tunneliverkosto, joka osaltaan on otettava huomioon niin suunnittelussa kuin toteutuksessa.

7.1.5 Hanke 5

Hanke 5 tulee myös olemaan yliopistosairaala Etelä-Suomessa. Hankkeen bruttoala on noin 48 000 brm² ja hyötyala noin 23 000 hym². Rakentaminen ajoittui vuosille 2014-2018, ja hanke toteutettiin jaettuna urakkana.

Hanke sijaitsee vilkkaalla ja ahtaalla sairaalakampusalueella. Naapureina on muun muassa toiminnassa olevaa sairaalakantaa sekä asuintaloja, jotka on otettava huomioon eri työvaiheissa sekä työmaan logistiikassa. Esimerkiksi naapuruston asukkaat ovat erittäin tarkkoja ajoista, jolloin työmaa teki meluavaa työtä. Sallittu työaika työmaalla meluaville töille asetettiin 7-18. Työmaan logistiikkaa varten oli varattuna kadulta jalkakäytävä, jota kautta muun muassa toimitusten purku tapahtui. Katu oli muuten liikennekäytössä, ja olikin huolehdittava, ettei työmaalle saapuva materiaalivirta aiheuttanut häiriöitä esimerkiksi ambulanssiliikenteessä.

Hankkeessa joka lohkolle on käytetty rakennushissejä sekä isoja lavoja, jotta suurien kipsilevynippumäärien sisään haalaaminen on ollut mahdollista. Tämän lisäksi hankkeessa oli kolme nosturia, yksi rakennuksen ulkopuolella, toinen keskellä ja kolmas rakennuksen toisessa päässä.

7.2 Moduuliratkaisujen vaikutukset – hyödyt ja haasteet

Tässä luvussa esitetään tapaustutkimuskohteissa nousseita moduuliratkaisujen vaikutuksia. Seuraavaksi keskitytään erityisesti, mitä moduuleita hankkeissa käytettiin. Lisäksi selvitetään, mitkä tekijät johtivat juuri tiettyihin ratkaisuihin, mitä hyötyjä niillä on saavutettu, mitä haasteita moduulien käytöstä on ilmennyt, ja mitkä tekijät ovat olleet esteinä tietyille ratkaisuille. Luku on jaettu kirjallisuuden mukaisesti kolmeen osaan esivalmisteasteittain (Soveltaen Peltokorpi ym. 2018; Gibb ja Isack 2003). Ensiksi käydään läpi hankkeissa käytettyjä tilamoduuleja kuten kylpyhuoneita. Toisena käsitellään paneeleja, ja viimeisessä alaluvussa käydään läpi talotekniikan moduuleja.

7.2.1 Tilamoduulit

Tilamoduuleita hyödynnettiin kolmessa tutkitussa hankkeessa. Yhdessä hankkeessa leikkaussalit toteutettiin modulaarisena kokonaistoimituksena, ja kahdessa hankkeessa hankittiin kylpyhuonemoduuleita. Seuraavaksi käsitellään edellä mainittujen kokonaisvaikutuksia tapauskohteissa. Tämän lisäksi käsitellään tapauskohteissa ja erillishaastatteluissa nousseita tilamoduulien ajureita ja esteitä.

7.2.1.1 Leikkaussali

Hankkeessa 3 toteutettiin kolme leikkaussalia avaimet-käteen toimituksena. Merkittävimpinä ajureina havaittiin urakan selkeä vastuunjako sekä potentiaalinen ajansäästö. Merkittävimpiä hyötyjä olivat esivalmisteiden paremmat valmistusolosuhteet, selkeä käyttökoulutus sekä käytönaikainen puhtaudenhallinta. Myös hankkeissa 2 ja 4 harkittiin leikkaussalimoduuleja, mutta niitä ei kuitenkaan valittu lopulliseen toteutukseen. Esteenä hankkeessa 4 ilmeni leikkaussalien suunnitteluun liittyvät yksityiskohdat. Näiden lisäksi hankkeessa 2 havaittiin esteenä leikkaussaleille niiden merkittävästi korkeampi hinta verrattuna paikan päällä rakentamiseen.

Ensimmäisenä merkittävänä ajurina haastattelussa (N13) todettiin selkeä vastuunjako. Tilaajalle toteutetaan leikkaussali avaimet käteen periaatteella, jolloin moduulitoimittaja on

vastuussa kaikista haastavista ja monimutkaisista osista, joista leikkaussali koostuu. Tällaisia ovat muun muassa ilmanvaihdon ohjaus sekä kiertoilmakoneiden valinta. Selkeä vastuunjako näkyy myös käytönaikaisessa toiminnassa, sillä modulaarisen leikkaussalin huollosta ja korjauksesta on vastuussa selkeästi tietty toimija. Toisena merkittävänä ajurina nähtiin potentiaalinen ajansäästö. Samaan aikaan valmistetaan modulaarista leikkaussaliratkaisua, ja muu rakentamisvaihe etenee.

Modulaaristen leikkaussalien käytöstä havaittiin kolme hyötyä. Ensiksi, moduulisalit valmistetaan paremmissa olosuhteissa. Haastattelussa (N8) todettiin, että hallituissa olosuhteissa rakennetulla modulaarisella leikkaussalilla saavutetaan lopputuotteen parempi laatu. Toisena merkittävänä hyötynä nähtiin myös selkeä salin käytön koulutus, joka toteutettiin yhdellä kertaa. Yhden toimittajan periaatteella kaikkien leikkaussaliin liittyvien ominaisuuksien käyttö opastettiin selkeästi.

Hankkeessa 3 kolmantena hyötynä oli modulaarisen leikkaussalin käytön aikainen parempi puhtaudenhallinta. Modulaarisella leikkaussaliratkaisulla voidaan tarvittaessa toteuttaa esimerkiksi puhtaamman luokan vaativia hoitotoimenpiteitä. Tämän on mahdollistanut muun muassa kahdesta osasta koostuva leikkaussalin kattorakenne. Kattorakenteeseen sisältyy hygienialevyistä koostuva sisäkatto sekä tämän yläpuolella oleva varsinainen katto. (N13)

Esteenä nähtiin hankkeessa 4 leikkaussalien suunnitteluun liittyvät yksityiskohdat. Leikkaussaleihin vaadittavat ilmanvaihtokoneet tulisi sijoittaa joko tilan päälle tai viereen. Tämä vaatisi esimerkiksi ylemmästä kerroksesta tilaa, joka on suunniteltu muuhun käyttötarkoitukseen. Sairaalassa ei siis ollut tilaa leikkaussalien vieressä tai sen päällä tekniikkatilaa varten. (N2)

Toisaalta esteenä myös havaittiin leikkaussaleille niiden merkittävästi korkeampi hinta verrattuna paikan päällä rakentamiseen. Tähän osaltaan liittyy kustannusvertailun hankala toteuttaminen paikan päällä rakentamisen ja modulaarisen rakentamisen välillä. Vertailussa on hyvin vaikea huomioida kaikkia tekijöitä, joista yksi on laatu. Tämän lisäksi tarkastelun rajaus on hyvin haastavaa. On hankala erottaa mikä kuuluu paikan päällä rakentamiseen ja mikä modulaariseen rakentamiseen. (N11 ja N13)

Hankkeen 3 leikkaussalien toimituksessa todettiin olleen haasteita, jotka liittyivät P1-puhtausluokan valvontaan ja aikatauluun. Teemahaastattelussa kävi ilmi, ettei puhtausluokkaan vaadittavia toimenpiteitä oltu tehty. Esimerkiksi alueen tiiveydestä ei oltu huolehdittu. Tämän lisäksi pääurakoitsija ei saanut tarkastuspöytäkirjaa alueen puhtaustasosta ennen leikkaussalien asentamista. (N7 ja N8) Osaltaan edellä mainitut haasteet voivat johtua siitä, että toimija on uusi alalla.

Lisäksi havaittiin, että salitoimittaja viivästyi alkuperäisestä suunnitelmasta kolmella viikolla (N7 ja N8). Tällöin aiemmin mainittu ajansäästö tuli kyseenalaiseksi. Tulisikin tutkia tarkemmin, saavutettiinko hankkeessa silti perinteiseen rakentamiseen verrattuna ajansäästöä, vaikka toimittaja myöhästyi. Toisaalta voidaan spekuloida myös sitä, olisiko samojen olosuhteiden vallitessa salien valmistuminen viivästynyt, mikäli ne olisi rakennettu paikan päällä.

7.2.1.2 Kylpyhuone

Hankkeissa 1 ja 5 kylpyhuoneet on toteutettu modulaarisina. Merkittävimpana ajurina modulaarisiin kylpyhuoneisiin johti kireä aikataulu. Hyötyjä olivat kustannussäästö suuren toistuvuuden myötä, toteutuneet aikataulusäästöt, materiaa livirran ja pölyn vähentyminen sekä siivoamisen tarpeen vähentyminen. Esteinä havaittiin suunnitteluun liittyvät yksityiskohdat, toimittajien mielenkiinnon puute, kallis hankintahinta sekä muuntojoustamattomuus. Haasteet liittyivät käyttäjälähtöiseen suunnitteluun, urakkarajoihin, toistuvuuteen sekä potentiaaliin työvirheisiin.

Hankkeiden 1 ja 5 kireä aikataulu johti kylpyhuoneiden toteuttamiseen modulaarisena. Aikataulusäästöä voidaan saavuttaa siten, että kylpyhuonemoduulit valmistetaan tehtaassa samanaikaisesti, kun muita työvaiheita tehdään työmaalla. Aikataulusäästön lisäksi voidaan vähentää työmaan vaiheistuksen suunnittelun ja toteutuksen kuormitusta. Kylpyhuoneeseen suhteellisen pienenä tilana liittyy usein eri työntekijöitä ja monia eri työvaiheita, jotka tulee tahdistaa. (N1, N9, N10 ja N12)

Yksi merkittävistä hyödyistä hankkeessa 1 oli kustannussäästö. Suuren projektikoon takia tehtiin tyyppitilaluokittelu kaikille sairaalan noin 11 000 tilalle. Luokittelusta nousi toistuvana tilana kylpyhuone, joka vakioitiin. Vakioimalla esimerkiksi kylpyhuone tyyppitilana saadaan nostettua esivalmisteen sarjan kokoa ja tätä myötä laskettua kustannuksia. Tämän lisäksi välillisiä kustannuksia voidaan vähentää rakentamisvaihetta nopeuttavin moduuliratkaisu in. (N1 ja N12) Välillisiä kustannuksia ovat esimerkiksi työn keskeytyksistä ja rakennettavan sairaalan lämmityksestä aiheutuvat kulut.

Toisena hyötynä haastatteluissa (N9, N11, N12) kävi ilmi materiaa livirran vähentyminen. Työmaalle nimittäin ei tule erillistoimituksia, kuten kaakeleita ja saniteettikalusteita, vaan koko tilaelementti tuodaan paikalle yhtenä pakettina. Kolmantena hyötynä havaittiin pölyn väheneminen työmaalla. Kylpyhuoneen rakentamisessa on pölyäviä työvaiheita, ja esivalmistaessa kyseiset työvaiheet toteutetaan työmaan ulkopuolella. Tämä osaltaan johtaa työmaalla siivoamisen tarpeen vähenemiseen.

”[...] sehän [kylpyhuonemoduuli] ei ollu tuotteena semmonen, mikä hyvin palvelee esivalmistusta, ku meillä oli lähestulkoon jokainen kylpyhuone-elementti erilainen. [...] mutta N.N. oli vakuuttunu noitten kylpyhuone-elementtejen hyödystä just kaiken tän logistiikan vähenemisenä ja siivouksen ja pölyämisen ja kaiken vähenemisenä, he oli käyttäny niitä tuol [Eräs hotellihanke], niin N.N. nasautti, että vaikka niit tyyppi ois enemmän ku tänne tulee niit kylpyhuoneita, niin ne kannattaa elementtinä tehdä.” (N9, Hanke 5)

Edellä listatuista hyödyistä ja ajureista voidaan havaita niiden olevan osin samoja asioita. Ajurina voi toimia kireä aikataulu, ja kylpyhuone-elementeistä saatavaa hyötyä on, että hankkeen rakentamisvaihe lyhenee merkittävästi.

Haastatteluissa nousi esille kolme estettä kylpyhuonemoduulien käytölle. Hankkeissa 2 ja 4 havaittiin esteeksi suunnittelun yksityiskohdat. Hankkeessa 4 suunnittelun yksityiskohdat mahdollistaisivat vain joko kylpyhuoneiden tai käytävien talotekniikan toteuttamisen modulaarisesti (N9). Tarkemmat tarkastelut johtivat siihen, ettei kumpaakaan toteuteta moduuliratkaisu in (N2). Hankkeessa 2 ongelmana oli kerroksen palo-osastointi sekä äänenvaimennus kylpyhuone-elementin ja muun kerroksen välillä (N11).

Toisaalta esteenä havaittiin toimittajiin liittyvät ongelmat hankkeissa 2 ja 5. Hankkeessa 2 kylpyhuonetoimittajaa ei kiinnostanut lähteä toteuttamaan, sillä toimittaja on keskittynyt kerrostalo- ja laivatuotantoon. (N11) Hankkeessa 5 yhdellä potentiaalisista toimittajista ei ollut resursseja toimittaa moduuleja, sillä kapasiteetti oli varattu jo muille teollisuudenaloille kuten laivanrakennukseen. Toisaalta hankkeeseen 5 löydettiin toinen kylpyhuonemoduulitoimittaja. (N9)

Kolmantena esteenä ilmeni kylpyhuonemoduulien kallis hankintahinta ja vähäinen toistuvuus. Havaittiin, että käyttäjälähtöisessä suunnittelussa on vaikea saada korkeaa toistuvuutta. Mikäli valmistettavat tilamoduulit eivät ole keskenään riittävän samanlaisia, tarkoittaa se pientä valmistussarjan kokoa ja sitä myötä korkeampaa kustannusta. (N3 ja N6)

Haasteita kylpyhuone-elementtien käytössä nähtiin hankkeissa 1, 2 ja 5 käyttäjälähtöisessä suunnittelussa, urakkarajoissa sekä potentiaalisista työvirheistä. Käyttäjiä tulisi kuunnella riittävän ajoissa, ja päätökset tiloista lukita, jotta voidaan edetä tuotantoon. Tämän lisäksi havaittiin, että käyttäjien vaikutusmahdollisuudet ovat rajalliset (N1, N12). Esimerkiksi hoitajan ja lääkärin toiveita ei välttämättä pystytty toteuttamaan kustannustehokkaasti moduuliratkaisuin.

Urakoinnin rajaamisessa havaittiin mahdollinen ongelma. Mikäli moduuliratkaisujen harkitseminen ja suunnitteleminen hankkeeseen aloitetaan liian myöhään, voi se johtaa päällekkäisiin urakoihin. Hankkeessa 5 pääurakoitsijan tullessa mukaan hankkeeseen, aloitettiin keskustelut kylpyhuonemoduuleista. Tässä vaiheessa tosin oli jo kilpailutettu kylpyhuoneiden ovet toiseen urakkaan. Joustava sopimusmalli kuitenkin salli sen, että erillistä oviurakkaa ei toteuteta, vaan kylpyhuoneiden ovet tulevat moduulien mukana. (N9)

Kolmantena haasteena havaittiin esivalmistamiseen liittyvä systemaattisen virheen riski. Haastattelussa (N6) nousi hypoteettinen esimerkki, jossa on tilattu viisi kylpyhuonetta esivalmisteisena, ja kaikissa ilmenee sama systemaattinen virhe. Vastaavasti paikan päällä rakennettuna voidaan vaikuttaa systemaattiseen virheeseen nähdessä ensimmäisen valmistuneen kylpyhuoneen virheet. (N6) Toisaalta, usein on käytössä mallitilamenettely, jossa voidaan tarkistaa potentiaaliset virheet, ja tehdä muutoksia tuotantoon.

7.2.2 Paneelit

Tässä monitapaustutkimuksessa havaittiin sairaalahankkeissa käytettävän kahta eri paneelia. Julkisivumoduuleja käytettiin kolmessa hankkeessa, ja potilaspaneeleja myös kolmessa hankkeessa. Seuraavaksi käsitellään paneelien kokonaisvaikutuksia tapauskohteissa. Tämän lisäksi käsitellään erillishaastatteluissa nousseita paneelien ajureita ja esteitä.

7.2.2.1 Julkisivumoduuli

Kolmessa tapaustutkimuskohteessa julkisivut toteutettiin modulaarisina. Julkisivupaneelit sisältävät julkisivumateriaalin, eristuksen sekä ikkunat valmiina tehtaalla asennettuna. Hankkeissa 4 ja 5 merkittävimpana ajurina julkisivumoduulien käytölle oli kireä aikataulu. Julkisivuelementtien asennusten jälkeen saavutetaan nopeasti sisävalmistusvaiheelle suotuisat olosuhteet, ja kyseinen vaihe voidaan aloittaa huomattavasti aiemmin. (N2, N9 ja N10)

”[...] julkisivuthan on kummassaki kohteessa esivalmistettu, että sehän on ollu ihan kaikista tärkein asia näissä hankkeissa, että [hankkeessa 5] meidän aikataulu ois kuukausia, kuukausia pidempi, ellei me oltais niistä kevytrakenteisistaki julkisivuista yhdessä todettu, et nää on sit muuten elementoitava, jotta saadaan vaippa umpeen, et me saadaan sitten sisällä sisävalmistustöille otolliset olosuhteet niiden alottamiseksi.” (N9, Hanke 4 & 5)

Julkisivumoduulien käytölle hankkeessa 2 on perusteena niiden korkea laatu. Haastatteluissa (N3 ja N4) kävi ilmi, että tehtaassa hallituissa olosuhteissa suoritettavat työvaiheet tuottavat laadullisesti paremman lopputuloksen kuin työmaalla. Tämän lisäksi hankkeessa haluttiin hyödyntää puuta rakennusmateriaalina.

Hankkeessa 2 ilmeni haasteita julkisivuelementtien suunnittelussa sekä hankemuodossa. Suunnittelua tekivät sekä varsinainen rakennussuunnittelija että elementtisuunnittelija. Elementtisuunnittelun vastuulla oli itse rakennustuotteen suunnittelu, ja rakennussuunnittelu teki muuta suunnittelua hankkeelle. Haasteena oli kyseisten toimijoiden vastuiden ja rajapintojen yhteensovittaminen. (N11)

Toisena haasteena hankkeessa 2 nähtiin allianssimallin tuomat mahdolliset rajoitteet. Hankkeessa käytetty malli jakaantui kahteen osaan; kehitys- ja toteutusvaiheeseen. Yleisesti allianssin kehitysvaiheessa tunnistetaan moduulitoimittajia, joista jonkin kanssa solmitaan kehitysvaiheen sopimus. Tässä vaiheessa toimitettavaa tuotetta kehitetään yhdessä elementtitoimittajan kanssa, ja samalla sidotaan kustannuksia. Kehitysvaiheen moduulitoimittajan valinnan myötä myöhemmässä vaiheessa vaihtoehtojen kilpailuttaminen onkin huomattavasti hankalampaa. Toisaalta kehitysvaiheessa ei voida vielä sitouttaa toimittajaa toteutusvaiheeseen. Hankkeessa 2 julkisivumoduulien hankinta toteutettiin sopimusneuvotteluin, eikä kaikkea allianssimallin kehitysvaiheen potentiaalia pystytty hyödyntämään. (N11)

7.2.2.2 Potilaspaneeli

Modulaarisia potilaspaneeleja käytetään hankkeissa 1 ja 2 sekä hankkeessa 4 selvitetään niiden käyttöä. Potilaan sängynpäätyyn tuleva paneeli sisältää paljon talotekniikkaa, muun muassa sähkö- ja sairaalakaasupistokkeita. Seuraavaksi käsitellään modulaaristen potilaspaneelien valitsemisen ajureita ja esteitä, sekä niihin liittyviä hyötyjä ja haasteita.

Ajureita modulaaristen potilaspaneelien käytölle tunnistettiin yhteensä kolme. Hankkeessa 2 ajureina olivat kustannussäästö sekä työmäärän vähentäminen työmaalla (N3). Tapauskohteessa 4 ajurina oli hankkeen erittäin kireä aikataulu (N9).

Hyötyjä modulaaristen potilaspaneelien käytöllä tunnistettiin kaksi. Hyötyinä havaittiin hankkeessa 2 logistiikan ja työtehtävien väheneminen työmaalla. Työmaalle kokonaisina tulevat modulaariset potilaspaneelit vähentävät merkittävästi eri urakoitsijoiden käyntiä messalla, joka osaltaan vähentää muun muassa työnkeskeytysten riskiä. (N3) Toinen potentiaalinen hyöty tunnistettiin hankkeessa 4, joka on rakentamisvaiheen nopeutuminen. Paljon talotekniikkaa sisältävät potilaspaneelit voidaan valmistaa työmaan ulkopuolella samanaikaisesti työmaan edetessä. Näin toimimalla voidaan saavuttaa merkittävää rakentamisvaiheen nopeutumista. (N9)

Edellä kuvatusta voidaan havaita, että hyödyt ja ajurit ovat osin samoja asioita. Hyötyä on, että hanke nopeutuu ja työmäärä vähenee työmaalla, mutta samalla se toimii ajurina käyttäen modulaarisia ratkaisuja.

Merkittävänä esteenä modulaarisille potilaspaneelille nähtiin hankkeessa 4 niiden korkea hankintahinta. Ratkaisuna tähän ehdotettiin kansainvälisten toimijoiden osallistamista, jolloin moduulien suorat kustannukset ovat kilpailukykyisiä verrattuna paikan päällä rakennettaviin. (N9) Toisaalta, kokonaiskustannukset voivat olla merkittävästikin pienemmät moduuliratkaisussa, sillä esivalmisteella voidaan saavuttaa aiemmin mainittua rakentamisvaiheen nopeutumista, joka osaltaan vähentää epäsuoria kustannuksia.

7.2.3 Talotekniikka

Tässä monitapaustutkimuksessa havaittiin sairaalahankkeissa käytettävän kahta eri talotekniikkamoduulia. Käytäväelementtejä käytettiin yhdessä yhdessä ja IV-koneita yhdessä hankkeessa. Seuraavaksi käsitellään talotekniikkamoduulien kokonaisvaikutuksia tapauskohteissa.

7.2.3.1 Käytäväelementti

Hankkeessa 1 on käytetty käytäville asennettavia talotekniikan käytävämoduuleja. Näiden moduulien käytölle ajureina havaittiin kireä aikataulu, parempi laatu sekä aiemmat kokemukset. Hyötyjä talotekniikan käytäväelementeille havaittiin olevan asentamisen nopeus, parempi työturvallisuus, materiaalihukan vähentyminen sekä moduulien korkea laatu. Esteinä moduulien käytölle tunnistettiin suunnittelun yksityiskohdat, käytäväelementtien tarpeettomuus sekä talotekniikan työehtosopimukset. Haaste moduulien käytössä oli suunnitelmien tarkkuudessa.

Yhtenä syynä käyttää käytäväelementtejä nousi hankkeessa 1 kireä aikataulu. Hankkeessa talotekniikkaelementtejä käytetään osastoilla, joilla on paljon toistuvuutta. Tällaisia ovat esimerkiksi vuodeosastot. (N1 ja N12) Toisena ajurina havaittiin aiemmat kokemukset. Projektissa nimittäin hyödynnettiin työyhteisöliittymää, jossa oli mukana isobritannialaisia rakentajia, jotka ovat kokeneita moduulirakentajia vilkkaissa ja ahtaissa kaupunkiympäristöissä. (N1 ja N12)

Tutkimuksessa havaittiin yhteensä neljä hyötyä käytävän talotekniikkamoduulien käytöllä. Ensiksi, hankkeessa 1 hyödyksi käytäville asennettaville talotekniikan esivalmisteille nousi niiden nopea asennus. Esimerkiksi käytäville alakaton yläpuolelle asennettavissa talotekniikkakehikoissa oli valmiiksi asennettuna kahdeksan putkea, jolloin työmaalla työvaiheiksi jäivät kehikon eristäminen, asentaminen kattoon sekä putkien liittäminen toisiinsa. Tällä toimintatavalla saavutettiin hyvin nopea asennus, joka osaltaan nopeutti rakentamisvaihetta huomattavasti. Hankkeessa käytäväelementtien asennus tapahtui viikon syklistä, eli yhden kerroksen käytävien talotekniikka asennettiin viikossa. (N1 ja N12)

Toisena hyötynä talotekniikan esivalmisteissa havaittiin parempi työturvallisuus. Työntekijän ei esimerkiksi tarvitse hitsata korkealla, vaan merkittävä osa työvaiheista voidaan toteuttaa ergonomisessa työasennossa selkä suorana lattiatasolla hyvässä valaistuksessa. Tämä osaltaan johtaa kolmanteen tunnistettuun hyötyyn, korkeampaan laatuun. Neljäntenä hyötynä tunnistettiin materiaalihukan vähentyminen hallituissa olosuhteissa. Tehtaassa voidaan varastointitilat järjestää pysyviksi, jolloin esimerkiksi ylimääräisiltä siirroilta ja materiaalihavainnoilta vältytään. (N1, N12)

”[...] Se ois työturvallisempaa toimintaa. Ergonomia-asioita, ei meidän tarvii tuolla kolmes metrissä hitsata. Voidaan hitsata täs selkä suorana ja hyvis valaistuis olosuhteis [...]” (N1, Hanke 1)

Tutkimuksessa nousi kolme estettä käytäväelementtien käyttämiselle. Hankkeessa 2 suunnittelun myötä elementit nähtiin tarpeettomiksi. Hankkeessa nimittäin lähes koko kerros oli varattu talotekniikalle, eikä varsinaisille käytäväelementeille nähty tarvetta, sillä hankkeessa syötettiin talotekniikka pystynousuin (N11). Toisaalta haastatteluissa (N1, N12) nousi esiin rakennusalan työehtosopimukset. Putkiasentajille maksetaan työstä putkimetreittäin eikä esimerkiksi pelkästään talotekniikan käytäväelementtien liittämistä toisiinsa nähdä mielekkäänä urakkana. Edellä mainittujen lisäksi esteenä haastattelussa ilmeni tahdonpuute alalla (N1).

”[...] Nythän me puhutaan vaan yksinkertasesesta metallirangasta mis on putket määrätyin kohdin kannakoitu paikalleen. Et jos mä tohon laitan pihalle kaarihallin ja sinne sisälle lämmitteen, tilaan tukkurista tavaraa niin mul on tehdas [...] Et onhan täs enemmän tahtokysymys kun sellanen että olisi hurjan vaikea asia toteuttaa.” (N1, Hanke 1)

Haasteena hankkeessa 1 ilmeni suunnitelmien tarkkuuden parantaminen varhaisemmassa vaiheessa. Esivalmisteet nimittäin pakottavat siihen, että suunnitelmien tulee olla aikaisessa vaiheessa valmiit, ja niiden on oltava tarkkoja tuotantoa varten. Toisaalta, suunnitelmien aikaisempi tarkentuminen nähtiin myös hyvänä puolena. (N1 ja N12)

7.2.3.2 IV-kone

Hankkeessa 2 on käytetty esivalmistettuja modulaarisia IV-koneita, joille on tehty muun muassa testaukset etukäteen tehtaalla. Näiden moduulien käytölle ajurina tunnistettiin niiden korkea laatu. Esteenä moduulien käytölle havaittiin suunnittelun yksityiskohdat. Hyötyjä modulaaristen IV-koneiden käytössä tunnistettiin rakentamisvaiheen keston lyheneminen, alhaisemmat kokonaiskustannukset, materiaalihukan ja varastointitarpeen vähentyminen sekä parempi puhtaudenhallinta. Haasteet liittyivät moduulien suureen kokoon.

Modulaarisia IV-koneita hankkeessa 2 perustellaan sen korkealla laadulla. Nähdään, että tehtaassa hallituissa olosuhteissa suoritettut työvaiheet tuottavat laadullisesti paremman lopputuloksen kuin työmaalla. (N3)

Modulaaristen IV-koneiden hyötyjä tunnistettiin yhteensä viisi. Ensiksi nähtiin, että modulaariset IV-koneet lyhentävät rakentamisvaiheen kestoja. Asennustyön määrä vähenee työmaalla, minkä lisäksi voidaan tehdä samanaikaisesti työmaalla muita työvaiheita, kun tehtaalla valmistetaan IV-koneita. Toisena hyötynä havaittiin alhaisemmat kokonaiskustannukset. Esivalmisteen sarjan koon kasvaessa yksikköhinta laskee, jolloin välittömät kustannukset vähenevät. Tämän lisäksi välilliset kustannukset vähenevät, kun rakentamisvaiheen kesto lyhenee. (N3 ja N4) Välillisiä kustannuksia ovat esimerkiksi työmaatoimiston vuokra ja rakennettavan sairaalan lämmityskulut.

Kolmantena hyötynä tunnistettiin materiaalihukan vähentyminen. Tehtaalla valmistaessa vakioituissa olosuhteissa materiaalinkäyttö on tehokkaampaa, kuin mitä se olisi työmaalla muuttuvissa olosuhteissa. Neljäntenä hyötynä tunnistettiin varastointitarpeen vähentyminen

työmaalla, mikä osaltaan johtaa hävikin ja häiriöiden vähentymiseen. Esimerkiksi hävikkiä voi syntyä silloin, kun materiaalia siirrettäessä kolhitaan raakamateriaalia. Häiriöt vähenevät, kun ylimääräisiä varastoja ei ole esteenä työpisteellä. Viidenneksi, modulaarisilla IV-koneilla saavutettiin parempi puhtaudenhallinta. Työmaalla on vähemmän pölyviä työvaiheita, kun koneet valmistetaan tehtaassa. (N3 ja N4)

Esteeksi eräässä haastattelussa (N1) kävi ilmi modulaaristen IV-koneiden käytölle vakioratkaisuihin liittyvät suunnittelun yksityiskohdat. Esimerkkinä haastattelussa nostettiin eräs asuntokohde, jossa yritettiin suunnitella IV-kone esivalmisteisena. Olemassa olevilla vakioratkaisuilla kohteeseen ei saatu sovitettua esivalmistetta. Toisaalta haastattelussa nousi myös ilmi, että vakioratkaisuihin tukeutuminen ei aina ole välttämättömyys, vaan IV-koneen voisi esivalmistaa ilman, että kyseessä olisi vakioitu tuote.

Haasteena haastatteluissa (N3 ja N4) ilmeni modulaaristen suurten IV-koneiden liikuteltavuus. Kookkaat esivalmistetut vaativat tehokkaampaa nostokalustoa sekä erikoiskuljetusvälineistöä sisävalmistusvaiheessa, kuin mitä paikan päällä rakennettaessa. Esimerkiksi pyörästöjä tarvitaan koneiden liikuttelemiseen kerroksen sisällä lopulliseen sijaintiinsa.

7.2.4 Yhteenveto vaikutuksista

Tässä diplomityössä tutkitaan moduulien aiheuttamia kokonaisvaikutuksia sairaalahankkeissa. Seuraavaksi esitetään monitapaustutkimuksessa ilmi tulleita vaikutuksia taulukoissa 8 ja 9.

Taulukosta 8 voidaan havaita, että hankkeissa moduulien käytöllä on erilaisia tavoitteita, joita tässä tutkimuksessa tunnistettiin neljä. Tämän lisäksi tunnistettiin yksi merkittävä reunaehto. Jokaisen moduulin käytössä merkittävänä tavoitteena on ollut aikataulusäästö. Tämän lisäksi yhtä moduuliratkaisua lukuun ottamatta jokaisen kohdalla ahdas tontti on ollut vallitseva reunaehto. Viittä eri moduulia käytettiin tapauskohteissa paremman laadun saavuttamiseksi. Neljällä eri moduulilla tavoiteltiin kustannussäästöä. Talotekniikan käytävämoduuleilla tavoitteena oli työturvallisuuden parantaminen. Tästä voidaan päätellä, että merkittävimmät kolme tekijää moduulien käytölle ovat aikataulusäästö, ahdas työmaa-alue sekä parempi laatu.

Taulukko 8 Moduuliratkaisujen tavoitteita ja vallitsevia reunaehtoja. X = esiintyvyyden lukumäärä

Moduulia	Aikataulusäästö	Kustannussäästö	Laatu	Työturvallisuus	Ahdas tontti
Leikkaussali	X		X		X
Kylpyhuone	X X		X		X X
Julkisivu	X X X	X	X		X X
Potilaspaneeli	X X	X			X
TATE-käytävä	X	X	X	X	X
IV-kone	X	X	X		

Taulukossa 9 on koottuna tapaustutkimuskohteissa käytettyjen moduuliratkaisujen positiiviset ja negatiiviset vaikutukset. Merkittävimpiä positiivisia vaikutuksia olivat aikataulusäästöt sekä lopullisen tuotteen hyvä laatu. Sen sijaan merkittävimpiä negatiivisia vaikutuksia olivat kallis hankintahinta sekä suunnitteluun liittyvät tekijät.

Taulukko 9 Hankkeissa käytetyt moduulit ja niiden vaikutukset

Moduuli	Positiiviset vaikutukset	Negatiiviset vaikutukset
Leikkaussali	+Potentiaalinen aikataulusäästö +Potentiaalinen parempi laatu +Selkeä vastuunjako urakassa +Käytönaikainen puhtaudenhallinta	-Tekniikka vaatii tilaa samasta tai yläpuolisesta kerroksesta. -Kallis hankintahinta -Riittämätön toimittajan valvonta voi johtaa P1-puhtausluokan laiminlyöntiin sekä aikatauluviivästyksiin.
Potilaspaneeli	+Kustannussäästö +Vähemmän työvaiheita työmaalla +Rakentamisvaiheen nopeutuminen	-Kallis hankintahinta
Kylpyhuone	+Toistuvuuden ansiosta esivalmistuksessa sarjan koko voi olla suuri +Materiaalitoimitusten väheneminen työmaalle vähentää häiriöitä kuten työnkeskeytyksiä. +Vähemmän työvaiheita työmaalla	-Suunnittelun yksityiskohtien vaikutukset muihin moduuliratkaisuihin -Rajapintojen yhteensovittaminen -Moduulitoimittajien kapasiteetin riittämättömyys -Kallis hankintahinta -Systemaattisen virheen riski
Talotekniikan käytäväelementti	+Turvallisempi työympäristö +Huomattavasti nopeampi asennus työmaalla +Parempi materiaalitehokkuus +/-Tarkkojen suunnitelmien oltava aikaisemmin valmiina	-Suunnittelun yksityiskohtien vaikutukset muihin moduuliratkaisuihin +/-Tarkkojen suunnitelmien oltava aikaisemmin valmiina
IV-kone	+Korkeampi laatu +Alhaisemmat kokonaiskustannukset +Puhtaudenhallinta +Materiaalitoimitusten väheneminen työmaalle vähentää häiriöitä kuten työnkeskeytyksiä.	-Vakioratkaisujen yksityiskohdat voivat aiheuttaa modulaaristen IV-koneiden toteuttamisen tietyissä hankkeissa mahdottomaksi.
Julkisivuelementti	+Korkeampi laatu +Huomattava rakennusvaiheen nopeutuminen	-Suunnittelusta vastaa kaksi eri toimijaa, jolloin rajapintojen yhteensovittaminen haastavaa.

7.3 Moduuliratkaisut ja logistiikka

Tässä monitapaustutkimuksessa tunnistettiin sekä logistisia haasteita että ratkaisuja. Näiden lisäksi pystyttiin tunnistamaan yhteyksiä logistiikan ja moduuliratkaisujen välillä. Seuraavaksi käsitellään tutkimuskohteiden logistiikkaa edellä mainituista kolmesta näkökulmasta.

7.3.1 Logistiset haasteet

Tapaustutkimuskohteissa ilmeni useita eri logistisia haasteita. Seuraavaksi käsitellään näitä kolmessa eri osassa. Logistisia haasteita tunnistettiin toimitusten eräkokojen suuruudessa ja niiden toimitusvarmuudessa. Tunnistettiin myös työmaan sisäisiin materiaaliin siirtoihin liittyneitä ongelmia. Viimeisessä osiossa käsitellään P1-puhtausluokan aiheuttamia haasteita.

7.3.1.1 Toimitusten eräkokojen suuruuden ja toimitusvarmuuden hallinta

Hankkeissa 3 ja 5 erityisenä ongelmana oli toimitusten suuruuden hallinta. Miltei jokaisessa tutkittavassa kohteessa kriittisenä ongelmana oli ahdas työmaa-alue ja siitä johtuva varastointitilan puute. Liian suuret tavarantoimituserät suhteessa tarvittavaan määrään johtivat kohteissa muun muassa ylimääräisiin työnkeskeytyksiin, tarpeettomiin materiaalsiirtoihin sekä materiaalihukan syntymiseen. Suurta toimituserää perusteltiin sen edullisuudella: isompi kuorma on toimituskuluineen halvempi, kuin useampi pienempi kuorma. (N7, N8 ja N10) Potentiaaliset säästöt ovat tosin verrattain marginaalisia, ja usein suuremmat toimituserät eivät olekaan edullisempi vaihtoehto, jos otetaan huomioon niistä aiheutuvat muut kustannukset. Muita kustannuksia ovat esimerkiksi materiaalien siirtämiset ja vaurioitumisesta aiheutuvat kulut.

”[...] Sielt joku johtaja sanoo, että ku säästää taas 300, ku tuo kaks rekkaa, niin täälläki aina, yhtäkkii sinne ilmestyy vaan kaks rekkaa pihalle IV-putkia täys, ja siin on kahden kuukauden tavarat, vaik on sovittu kymmenen kertaa, et vaan kolmen viikon eväät mukana.” (N10, Hanke 5)

Hankkeissa 2 ja 3 havaittiin haasteena toimitusvarmuus. Kaikki toimittajat eivät noudata logistiikkakalenteriin varattua aikaa. Toimitus saapuu työmaalle joko liian aikaisin tai liian myöhään. Tämän lisäksi ilmeni ongelmia tiedonkulussa: toimittajalle annettu lähestymisohje ei ole aina itse kuljettajalla. Lähestymisohjeessa on tärkeää tietoa työmaasta, miten ja mitä kautta saapua työmaalle sekä usein ohjeessa kehoitetaan ilmoittamaan etukäteen saapumisesta. Näin ei kuitenkaan aina tapahdu, vaan kuorma saattaa tulla väärää reittiä vaarantaen olemassa olevan sairaalan liikennettä sekä aiheuttaen häiriötä työmaalle saapuen väärään aikaan ilmoittamatta työmaalle. (N4 ja N7)

Ratkaisuina väärään aikaan työmaalle saapumiseen oli joko toimituksen käännäyttäminen takaisin tai käännäyttäminen odotuspaikalle, jossa mahdollisesti voitiin purkaa toimitus välivarastoon. Vaihtoehtoisesti voitiin ottaa toimitus vastaan väärään aikaan, mikäli työmaan resurssit sen sallivat. (N4 ja N7)

”Me annetaan tieto täällä ja annetaan päivämäärä, annetaan kellonaika. Ei, mä en tiää missä se tieto oikeesti katkee. [...] Siel on ohjeet kuskeilleki kirjoitettu siihen kuormakirjaan, että soitto päivää ennen tai soitto tuntia ennen, tai jotain muuta. Ni kyl se sit on, et ne parkkeeraa sen auton tohon pihalle ja kattoo siitä kuormakirjasta, ja soittaa tosta pihalta.” (N7, Hanke 3)

Hankkeessa 3 nousi esiin toimitusten epävarman saapumisen vaikutus logistiikan suunnitteluun ja toteutukseen. Esimerkiksi logistiikan suunnittelussa otetaan huomioon purkujärjestystä ja seuraavia työvaiheita. Mikäli toimitukset saapuvatkin väärässä järjestyksessä tai myöhässä, johtaa se työmaalla odottamiseen sekä tarpeettomiin materiaalsiirtoihin. (N7)

” [...] Siel on kaverit, jotka oikeesti odottaa sitä tavaraa niin, et ne pääsee oikeesti töihin, ni me otetaan vähän tavallaan tietoinen riski. Et no, nyt meidän täytyy ottaa se tavara, ku kaverit sitä odottaa, vaikkakin tää menee nyt väärin. Eli se koko ennakkosuunnittelu häviää kertalaakista. Ihan siitä, et taas näitten tavarantoimittajien aika-aulut ei pidä.” (N7, Hanke 3)

7.3.1.2 Työmaan sisäisiin materiaalsiirtoihin liittyneet haasteet

Tapaustutkimuskohteissa oli ongelmia materiaalsiirroissa. Ongelmat liittyivät työmaan tontin kokoon, aliurakointiin, logistiikkaurakoiden hinnoitteluun, materiaalin tuomiseen työmaalle sekä logistiikkaresurssien riittävyyteen.

Miltei jokaisen tapaustutkimuskohteen kohdalla nousi esille ahdas työmaa-alue, joka on johtanut tarkkaan logistiikan suunnitteluun ja toteutukseen. Hankkeessa 2 tilaa on käytettävissä kohtuullisesti, kun muissa hankkeissa tilaa on erittäin rajallinen määrä. Ahdas työmaa-alue johtaa rajalliseen nosto- ja varastointikapasiteettiin. Esimerkiksi hankkeissa 4 ja 5 materiaallitoimituksia varten on vuokrattu yksi kaista kadusta eikä muita alueita ole käytettävissä.

"[...] Täs on talon ja tontin nurkkapisteet on samat, niin liiemmin tilaa eikä mitään varastoalueita ei ole. Ja se tiedettiin jo lähtiessä sillon, että siihen [logistiikkajärjestelyihin] täytyy panostaa, että homma yleensäki sujuu." (N7, Hanke 3)

"Että täs [Hanke 4] on viel ahtaampi tää seuraava työmaa. Meil on yks katu, meil on vaan yks jalkakäytävä vuokrattu siihen ja kaikki rekkaliikenne siitä, että ei oo mitään autohallii, tää on vielä vaikeempi." (N10, Hanke 4)

Hankkeessa 3 materiaalsiirtoihin liittyi kolme haastetta. Pääurakoitsijalla oli logistiikkavastaava, joka ylläpiti logistiikkakalenteria, ja jonka kautta toimitusajat ja logistiikkaresurssit kuten torninosturi varattiin. Aliurakoitsijat vastasivat kuorman sidonnasta ja vaakasiirroista. Heidän päätettävissään oli, käyttävätkö erillistä logistiikkaurakoitsijaa vai tekevätkö siirrot itse. Riskinä on työturvallisuuden vaarantuminen, mikäli siirtoja suorittavalla taholla ei ole riittävää osaamista: *"Kyl sitä välillä näkee tuol nosturinokassa semmosia väärin sidottuja taakkoja, missä on oikeesti jonkunmoinen tavarantoimitusvaara." (N7)*

Lisäksi tiedonkulussa oli ongelmia ja toimitukset saapuivat työmaalle väärin aikoihin. Ei oltu varmoja siitä, että ilmoittiko aliurakoitsija toimitusajaksi saman sekä tavarantoimittajalle että logistiikkavastaavalle. Toisaalta tiedonkulussa oli ongelmia materiaallitoimitajalla, sillä kuljettajat eivät aina olleet vastaanottaneet työmaan logistiikkaohjeita. Edellä mainittujen lisäksi toimintojen pilkkominen useaan eri aliurakkaan saattaa hajottaa ja sekoittaa työmaarutiineja. (N7 ja N8)

"No, toisaalta meidän on vaikee tietää, et mistä se epävarmuus siihen, et se kuski on sen kaks tuntii myöhässä tai kaks tuntii etuajassa, tai puol päivää myöhässä. Et onks se tilattu siihen aikaan tulevaks, vai ei. Ni meidän on vaikee sitä sitte tietää, me nähdään vaan se varaus siinä logistiikkakalenterissa." (N7, Hanke 3)

"Jos meil on 20 urakoitsijaa, ni se on semmosta omaan napaan tuijottelua, ja välillä tuntii siltä, että ei niitä meidän juttuja kauheen vakavasti välillä otettu." (N7, Hanke 3)

Edellä mainittuihin haasteisiin nousi kaksi ratkaisua. Haastattelussa ehdotettiin, että logistiikkatehtävät olisi pidetty pääurakoitsijalla. Pääurakoitsijan alla olisi siis torninosturikuljettaja, työmiehiä sekä logistiikkavastaava. Työmiesten vastuulla olisi materiaalien siirtäminen ja logistiikkavastaavan ainoana vastuualueenaan olisi logistiikan suunnittelu ja toteutus. (N7)

Toisaalta haastatteluissa ehdotettiin hankkeissa 4 ja 5 erillisen logistiikkaurakoitsijan käyttämistä. Urakoitsijat ilmoittivat logistiikkaurakoitsijalle kaikki toimituksen kellonajat, milloin tavarat tulevat. Varastointia varten tehtiin mestakarttoja, joihin on merkitty materiaalien paikat. Tässä toisaalta haasteena nähtiin kyseisen urakan hinnoittelu. Mikäli logistiikkatehtävät on jaettu kahdelle toimijalle, esimerkiksi erikseen ali- ja logistiikkaurakoitsijalle, tilanne voi johtaa ylimääräisiin kustannuseriin. (N9 ja N10)

”[...] Miksei me vaan sit osteta se koko logistiikka siltä urakoitsijalta, et jos me siirretään sitä logistiikkafirmalle, niin mul on ainaki epäily, että se tulee laskutettuu vähän niinku kahteen kertaan, et se on edelleen siel urakkahinnassa, ja logistiikkaurakoitsija ostaa sen viel niinku, myy toiseen kertaan.” (N9, Hanke 4 & 5)

Edellä mainittujen haasteiden lisäksi tapauskohteessa 2 havaittiin ongelmallisena rakennettavan keskussairaalan sijainti. Alue on mäen päällä, ja erityisesti talvella tämä voi aiheuttaa haasteita, sillä työmaalle on jyrkkä nousu. Tätä varten urakoitsija huolehti siitä, että kulureitti työmaalle on käytettävissä myös talvisaikaan, vaikka tämä olisi ollut toisaalta kaupungin tehtävä. Esimerkiksi aamun toimituksia varten urakoitsija aurasi ja hiekoitti tien, jotta raskaat elementtitoimitukset pääsevät tontille. (N3 ja N4)

Hankkeissa 3 ja 5 sisävalmistusvaiheessa havaittiin logistiikkaresurssien puutetta. Kuljetusreitit tapauksessa 5 eivät nimittäin riittäneet aluksi suurten tavaramäärien siirtämiseen. (N10) Sen sijaan hankkeessa 3 oli käytännössä yksi torninosturi keskellä autohallia. Tämä tarkoitti teoriassa kahdeksan tuntia rungon tekemistä, ja muiden isompien toimitusten vastaanottaminen tapahtui joko aikaisin aamulla tai myöhään iltapäivällä normaalityöajan ulkopuolella. (N7 ja N8)

”Jos on 30 asentajaa iskee kii levyä, niin ei tahtonut pojat kuulemma kerkii oikeen sitä levyä niin paljon siel hoitamaan sisälle, et ne asentajat laitto kiinni, et se oli niin hirvee vauhti. Sitte [logistiikkaurakoitsijalla] alussa oli vaikeeta, mut kyl ne sit oppi siihen.” (N10, Hanke 5)

7.3.1.3 P1-puhtausluokka ja häiriöttömyys

Hankkeessa 5 P1-puhtausluokka nousi yhtenä merkittävänä huomioitavan asiana logistiikassa. Projektissa ei nimittäin haluta ottaa turhaan riskejä kipsilevynippujen kastumisesta, jolloin kyseisiä nippuja ei voida tuoda runkovaiheessa valmiiksi holville. Näin ollen hankkeessa päädyttiin siihen, että esimerkiksi kipsilevyniput tuodaan hissillä rakennukseen myöhemmässä vaiheessa vaipan umpeuduttua. Yhtenä ratkaisuna puhtauden- ja kosteudenhallintaan hankkeessa käytettiin lavoja, joiden päälle materiaali varastoitiin. Näin materiaali on irti esimerkiksi vielä kosteasta ja kuivuvasta betonilattiasta. (N9 ja N10)

”[...] On varmaan puhuttu jotain tämmöstä, et joo, nostetaan rungon nostamisen yhteydes jotain kipsilevynippuja tonne taivaan alle, mut sehän ei kyl käy, nehän ehtii siel, niinku, se ei oo sit enää P1:tä. [...] Meil on rakennus vedenpitävä vaippa ja vesikatto kiinni, ennen ku siel on alettu mitään kipsilevytöitä siel sisällä tekeen, eikä siel oo niitä materiaalejakaan sitten sitä ennen ollu.” (N9, Hanke 5)

Tässä monitapaustutkimuksessa kävi ilmi, että merkittäviä häiriöitä synnyttävä rakennusvaihe on perustus- ja louhintatyöt. Räjätystyöt aiheuttavat tärinää, meteliä ja pölyä. Tämän

lisäksi kiviaineksen pois kuljettaminen nostaa pölyä ilmaan. Ratkaisuna ensimmäiseksi mainittuun ongelmaan on, että lähialueita tiedotetaan tulevista räjäytyksistä etukäteen. Pölyn aiheuttamat ongelmat ratkaistaan kastelemalla louhosta vedellä, jolloin pöly ei nouse ilmaan. Pölyn syntymistä ei kuitenkaan voi täysin estää, jolloin toiminnassa olevan sairaalan ilmanvaihtokanaviin asennetaan lisäsuodattimia. (N2, N3 ja N4)

7.3.2 Logistiset ratkaisut

Tässä luvussa käsitellään tapaustutkimuskohteissa kuutta esiin tullutta logistista ratkaisua. Hankkeissa käytettiin täsmätoimituksia, pientarvikevarastoa, logistiikkakeskusta, -vastavaa ja -kalenteria. Tämän lisäksi työkaluna muun muassa logistiikan suunnittelussa käytettiin tietomallia.

7.3.2.1 Logistiikkavastaavat ja täsmätoimitukset

Hankkeissa 3 ja 5 käytettiin täsmätoimituksia. Jokaisessa näissä projektissa on erityisenä ongelmana erittäin ahdas työmaa-alue, jossa ei ole varastointitilaa. Hankkeessa 3 toteutettiin täsmätoimituksia muun muassa runkovaiheessa, jolloin ikkunat toimitettiin valmiiksi holville (N7). Hankkeessa 5 rakentamista varten otettiin käyttöön jalkakäytävä työmaan viereiseltä kadulta. Reitti työmaalle on ainoastaan katuä pitkin, ja kaikki materiaali työmaalle on syötettävä kadun suunnasta. Ahdas työmaa pakotti urakoitsijan käyttämään täsmätoimituksia. (N9 ja N10)

Logistiikan tarkkaa suunnittelua ja toteutusta varten jokaisessa hankkeessa nimettiin logistiikkavastaava. Hänen vastuullaan on muun muassa logistiikkakalenterin ylläpito, toimitusten ja logistiikkaresurssien aikatauluttaminen sekä logistiikan toteutuksen valvonta. Valvominen voi liittyä esimerkiksi urakoitsijan tilauskäyttäytymiseen. Ahtaalla työmaa-alueella ei ole tilaa varastoida materiaalia yli tarpeen, ja tästä on syytä tiedottaa urakoitsijoita, jotta epämääräisiä varastoja ei pääsisi syntymään ja häiritsemään työmaan toimintaa. (N4, N5, N7, N8, N9, N10 ja N12)

"[...] Mut se tärkein asia siin on, et meil on hyvä joukkue siin junailemas töissä, jos ei me tueta sitä ja hoideta sitä ja neuvota niitä logistiikkakaverii, niin sit se menee solmuun. Kyl se vaatii sen koko joukkuehengen." (N10, Hanke 5)

Hankkeessa 3 nousi ilmi, että logistiikkavastaavan myötä logistiikan suunnittelu on onnistunut kokonaisuudessaan (N7). Logistiikasta vastaavan teot heijastuvatkin myös muuhun työmaahan voimakkaasti. Esimerkiksi, mikäli materiaalitoimituksen viivästyminen johtaa työntakeskeytyksiin ja työn aloituksen viivästyksiin. (N7, N10)

"Et kylhän se, et tässäki, jos verrataan siihen, et olis ollu täysin suunnittelematonta ja täysin kontrolloimatonta, niin mä oon täs joskus sanonuki, et jos sen oikeesti töölee, niin siin tapahtuu niin, et sinä päivänä kukaan ei tee mitään." (N7, Hanke 3)

7.3.2.2 Pientarvikevarastot ja logistiikkakeskukset

Hyvänä logistiikkaratkaisuna ilmeni hankkeessa 2 pientarvikevarasto, jonne pienempien tuote-erien toimittajat pystyivät toimittamaan ilman eri ilmoitusta. Logistiikkakalenteria siis käytetään isompien kuormien, kuten betonielementtien toimituksessa. Usein tällaiset kuormat tarvitsevat työmaalta resursseja purkua varten, kuten torninosturia, kurottajaa ja kuorman käsittelijöitä. (N4)

Hankkeessa 4 haasteena on erittäin ahdas työmaa-alue. Kyseiseen hankkeeseen onkin suunnitteilla logistiikkakeskuksen käyttö (N9). Toisaalta, hankkeessa 3 logistiikkakeskus nähtiin hankalana ratkaisuna, sillä logistiikan vastuu oli jaettu aliurakoihin sekä terminaalipalveluntarjoajia ei ole (N7).

”Kaikki, mitä tääl on rakennettu, ni ne on ollu urakoita, jotka urakoitsijat tekee. ja kyl siin kohtaa semmosen logistiikkakeskuksen käyttäminen, että jotain tulee jostain, ni on se hyvin hankalaa. [...] Et tääl ei oo palveluntarjoojiakaan.” (N7, Hanke 3)

7.3.2.3 Tietomalli ja logistiikkakalenteri työkaluina

Haastatteluissa nousi keskeisiksi työkaluiksi logistiikan hallintaan ja suunnitteluun sähköinen logistiikkakalenteri sekä tietomalli. Seuraavaksi käydään läpi näiden työkalujen käyttöä sekä niiden vaikutuksia tapauskohteissa.

Useassa tutkittavassa hankkeessa on käytössä sähköinen logistiikkakalenteri, jonka keskeisenä tavoitteena on tiedonkulun parantaminen. Kalenteri on liitetty urakoitsijan dokumenttipankkiin, ja työmaan kaikki tieto on samassa paikassa. Logistiikkakalenteri nimenä on hie- man harhaanjohtava, sillä työkalua voidaan käyttää työmaan yleisenä kalenterina. Aiemmin toimitusten aikataulutusta varten työmaalla on ollut tussitaulu, johon on merkitty kunkin päivän keskeiset tapahtumat. Sähköisen logistiikkakalenterin myötä tieto on helposti saatavilla niin tietokoneella kuin älypuhelimella, ja logistiikkavastaavan ylimääräinen kulku esimerkiksi työmaatoimiston ja työmaan välillä vähentyy huomattavasti. Tämän lisäksi logistiikkavastaava pysyy paremmin tietoisena työmaan tapahtumista. (N4, N5, N7 ja N8)

Toisena keskeisenä tavoitteena logistiikkakalenterin käyttöönotossa on ollut sen yksinkertainen ja helppo käyttö. Kalenteri muistuttaakin hyvin paljon esimerkiksi perinteistä Outlook-ympäristöä. Kalenteriin voidaan merkata muun muassa työmaan purkupaikat, saatavilla olevat nostoresurssit sekä henkilöstön lomat eri värikoodein. Esimerkiksi aliurakoitsija voi ehdottaa kalenteriin resurssin varausta, ja lopulta logistiikkavastaava joko hyväksyy tai hylkää ehdotuksen. Mikäli resurssi varataan ja logistiikasta vastaava on hyväksynyt, niin tämä näkyy logistiikkakalenterissa värikoodina varattuna resurssina. Näin ollen tieto välittyy kaikille työmaan sisällä vähentäen riskiä päällekkäisille toimituksille. (N4 ja N5)

Haastattelussa (N5) ilmeni haasteita logistiikkakalenterin käytössä. Kalenterin ollessa sähköisessä muodossa, on olemassa internet-yhteyden katkeamisen tai esimerkiksi puhelimen näytön rikkoontumisen riski. Tällöin ei saada tietoa esimerkiksi toimitusten saapumisajoista. Toinen haaste on tietojen jakaminen: mitä tietoa voi antaa ja kenelle.

Haastattelussa (N5) todettiin, että tietomallia voidaan käyttää logistiikan suunnittelun työkaluna projektin monissa eri vaiheissa. Tarjousvaiheessa voidaan simuloida muun muassa materiaalivirtojen toimivuutta työmaalla. Esimerkiksi tietomallin avulla nähdään, mahtuuko kuorma-auto kääntymään työmaan tontilla. Toteutusvaiheessa 4D-simulointi mahdollistaa kolmiulotteisen kappaleen lisäksi ajan huomioonottamisen. Käytännössä tämä tarkoittaa simulointia rakennuksen etenemisestä: esimerkiksi mikä lohko nousee missäkin vaiheessa. 4D-simuloinnin lisäksi on kehitteillä 5D-suunnittelu, jossa otetaan kolmiulotteisen kappaleen ja ajan lisäksi huomioon kustannus. Toteutusvaiheessa siis tiedettäisiin, kuinka paljon hankkeen budjetista olisi kulutettu missäkin vaiheessa.

”Tietomalli on keino suunnitella paremmin. Niit täsmätoimituksii ja muutenki sitä työmaan aluesuunnitteluun ja varastointii. Kyl, et jos se on hyvin suunniteltu, ni totta kai se auttaa sitä työmaata.” (N5)

Tietomallia voidaan käyttää myös hankinnan työkaluna. Esimerkiksi mallista voidaan laskea tarvittava väliseinien määrä nopeasti, ja tilata juuri oikea määrä. Potentiaalisena riskinä toisaalta mallin käytössä huomattiin suunnitelmiin liittyvä laskennallinen seikka, joka saattaa aiheuttaa laskentavirheen. Mikäli esimerkiksi jokin huone on mallinnettu kaksinkertaisin kipsilevyin, ei välttämättä tietomallista saa suoraan laskettua tarvittavan seinän määrää, vaan laskijan tulee tarkistaa kipsilevyn määrä. (N5)

Suunnittelun näkökulmasta tietomalli nähtiin myös hyvänä työkaluna tarjoten tarkan suunnitteluasteen. Tämä voi näkyä esimerkiksi siten, että ikkunatoimittajalta saadaan suoraan objektit sisältäen tarkat mittatiedot, tyypit ja listaukset eri ikkunamalleista. Sairaalatilojen, kuten kuvantamishuoneen, suunnittelussa on otettava huomioon myös tilan käytönaikaiset haalaukset. Esimerkiksi kuvantamislaitteet usein on kyettävä tarvittaessa vaihtamaan, ja tätä varten on suunniteltava haalausreitit. Tietomallin avulla simuloitiinkin kuvantamislaitteen kulkua, ja varmistettiin, että kyseinen laite voidaan kuljettaa ulos rakennuksesta. (N1, N5 & N12)

7.3.3 Moduuliratkaisujen yhteys logistiikkaan

Moduulit voivat palvella rakentamisen logistiikkaa tuoden ratkaisuja hankkeen tavoitteisiin. Tavoite voi olla esimerkiksi sairaalan käyttöönotto mahdollisimman pian, johon moduuli tuo ratkaisun logistisesta näkökulmasta. Tässä luvussa käydään läpi esivalmistettuihin moduuleihin liittyviä logistisia haasteita ja ratkaisuja sekä mitä moduuli vaatii logistiikalta ja toisaalta mitä se mahdollistaa.

7.3.3.1 Leikkaussali

Hankkeessa 3 leikkaussalit toteutettiin modulaarisena ja avaimet käteen periaatteella. Leikkaussalitoimittajalle oli varattu hankkeessa tyhjä ja puhdas tila. Leikkaussalia varten tarvittavat materiaalit tuotiin valmiiksi mittaan katkottuina paikan päälle. Tällöin esimerkiksi pölyvien työvaiheiden määrä väheni merkittävästi.

7.3.3.2 Kylpyhuone

Kylpyhuonemoduuli voidaan toimittaa usealla eri tavalla kohteeseen. Yksi tapa on nostaa elementti runkovaiheessa holville. Tällöin on huolehdittava muun muassa sääsuojauksesta. (N9) Toinen tapa on tuoda se niin sanotusti sivusta sisään, jolloin kylpyhuoneelle on varattava riittävän suuri haalausaukko sekä riittävä nostokapasiteetti. Toisaalta, suunnitelmien ei tarvitse olla niin pitkällä tässä tapauksessa, sillä esimerkiksi runkotyöt voivat edetä, vaikka kylpyhuoneet eivät olisikaan holvilla valmiina. (N1 ja N12) Kolmas tapa on jättää niin sanottu valoaukko kattoon, ja laskea moduuleille varattuun kuiluun kylpyhuoneet päällekkäin. Kylpyhuoneen tuomisen tapaan vaikuttaa merkittävästi muun muassa rakenneratkaisut, ja toisaalta rakenneratkaisuissa on huomioitava kylpyhuoneen tuomisen tapa.

”[Hankkeessa 1 kylpyhuone-elementit] tuotiin sivusta sisälle, siel oli iso hissi rakennuksen, siin on viis tornii siinä sairaalassa, siinä oli aina välillä keskikäytävä, niin siel oli iso hissi, mikä oli mitotettu niin, et siihen saadaan kaks elementtikylppärii.” (N1, Hanke 1)

Kylpyhuoneen esivalmistamisen keskeisinä hyötyinä ovat eri työvaiheiden ja toimitusten määrän vähentyminen työmaalla. Työmaan tahdistuksen tarve suhteellisen pienen tilan valmistamisessa vähenee merkittävästi. Kylpyhuoneen toteuttamisessa paikan päällä liittyy merkittävä määrä työvaiheita, ja usein kylpyhuoneen toteutukseen liittyy useita eri urakoita. Modulaarisen kylpyhuoneen valmistaminen työmaan ulkopuolella vähentää merkittävästi edellä mainittujen eri työvaiheiden ja urakoiden määrää. Toisena keskeisenä hyötynä havaittiin toimitusten vähentyminen. Esimerkiksi työmaalle ei tule erillisiä kaakeli- ja kalustetoimituksia, vaan paikalle tuodaan kylpyhuonemoduulit sisältäen muun muassa kaakelit ja vesikalusteet asennettuina. (N1, N9, N10, N11 ja N12)

Modulaariset kylpyhuoneet siis osaltaan yksinkertaistavat työmaan logistiikkaa, mutta osaltaan myös vaativat riittävää logistiikan suunnittelua ja toteutusta. Pitkälle valmistetut kylpyhuonemoduulit on suojattava säältä sekä kuljetuksessa että varastoinnissa. Tämän lisäksi on huolehdittava, että työmaalla on riittävät siirtoresurssit tilamoduuleja varten. (N1 ja N12)

7.3.3.3 Julkisivu

Haastatteluista (N3, N4, N9 ja N10) käy ilmi, että julkisivuelementit sekä mahdollistavat logistisia ratkaisuja, että vaativat logistiikalta uusia toimintamalleja. Kuten aiemmin mainittu, kireä aikataulu johti hankkeissa 4 ja 5 julkisivuelementtien hyödyntämiseen. Kyseiset elementit mahdollistavat omalta osaltaan hankkeissa logistiikkaratkaisun, jossa työmaan päivittäinen rytmi jakaantuu kahteen osaan. Ensiksi, päivävuorossa pystytetään rakennuksen runkoa, ja käytännössä työmaan nostokapasiteetti on kiinnitettynä tähän. Toiseksi, iltavuorossa nostokapasiteetin vapauduttua asennetaan esivalmistettuja julkisivuelementtejä. Näin saavutetaan sisävalmistukselle suotuisat olosuhteet huomattavasti nopeammin, kuin jos julkisivut olisi rakennettu paikan päällä.

Toisaalta, hankkeessa 2 havaittiin julkisivuelementtien käytön myötä haasteena haalausreitien merkittävä vähentyminen. Tämä on otettava huomioon tarkempana logistiikan suunnitteluna. Esimerkiksi tiettyjä julkisivupaneeleja ei asenneta ennen kuin kookkaat modulaariset IV-koneet on haalattu sisälle. (N4) Tämä osoittaa, että moduuliratkaisut voivat olla osin toisensa poissulkevia juuri logistiikkaan liittyvien rajoitusten vuoksi.

7.3.3.4 Talotekniikan käytäväelementti

Tässä tutkimuksessa tunnistettiin talotekniikan käytävämoduulien mahdollistavan häiriöiden vähentymistä sekä nopeaa asennusta. Toisaalta tunnistettiin logistiikan asettama rajoite käytävämoduulien maksimipituudelle. Mahdollisuuksien ja rajoitusten lisäksi tunnistettiin erilaisia toteutustapoja moduuleille, jotka on otettava huomioon logistiikan suunnittelussa ja toteutuksessa.

Haastattelussa (N1) kävi ilmi, että talotekniikan käytävämoduuleissa on mahdollisuuksia logistisesta näkökulmasta. Moduulit aiheuttavat todennäköisesti vähemmän häiriöitä kuten mestan käyttämistä varastona. Esimerkiksi eräässä toimistohankkeessa moduulien sijainnit suunniteltiin runkovaiheessa, jotta ne aiheuttaisivat mahdollisimman vähän haittaa myöhemmissä työvaiheissa.

”[...] niin periaatteessa sielt voi löytyä hyötyjä sitä kautta, et sit mesta on vapaa. [...] Esivalmisteet tänne [Toimistohankkeeseen] esimerkiksi sillon runkovaiheessa, ne oli mietitty paikat, mihin ne nostetaan, missä ne on vähiten tiellä.” (N1)

Toinen logistinen mahdollisuus talotekniikan käytäväelementeissä on niiden nopea asennus. Hankkeessa 1 yhden käytäväelementin asennus kesti tunnin, ja yhden kerroksen käytäväelementtien asennuksen kesto oli yksi viikko. (N1 ja N12) Tästä voidaan päätellä, että työmaalla vapautuu huomattavasti tilaa huomattavasti aiemmin muuhun käyttöön kuten varastointiin ja työn tekemiseen.

”Jos toi [Talotekniikan käytävämoduuli] on se 5 metriä pitkä, ja niit meni kerrokseen kymmenen, niin funtsatkaa, mikä määrä putkii meil on siin vaiheessa, kun noi asentaa tunnissa sen kattoon. Et onhan se, tällä ajatusmallilla ilmeinen.” (N1, Hanke 1)

Hankkeessa 1 talotekniikan käytävämoduuleissa rajoitteena ilmeni 5.6 metrin maksimipituus. Näiden elementtien haalaamista varten käytettiin platform-hissiä, ja moduulit tuotiin rakennuksen sivusta sisälle. Elementeissä oli pyörät alla, jolloin kuljetus asennuspaikalle oli helppo. Asennusta varten oli varattu kaksi rakennusapumiestä ja yksi työnjohtaja, jotka asensivat elementit kattoon. Tämän jälkeen putkimies erikseen kävi liittämässä elementit toisiinsa. (N1 ja N12)

”[...] Tuolla [Hankkeessa 1] niillä oli sellasii neljä käsiveiviä käytännös, millä ne nosti. Sellanen vähän niin kun levynostintyyppinen.” (N1, Hanke 1)

Haastattelujen (N1 ja N12) perusteella talotekniikan käytäväesivalmisteet voidaan jakaa kahteen kategoriaan: tehtaalla eristettyihin ja eristämättömiin. Mikäli esivalmisteeseen liittyvät putket on eristetty jo valmiiksi tehtaalla, niin on huolehdittava asianmukaisesta säätösuojauksesta kuljetuksen ja varastoinnin aikana. Tällöin toisaalta asennustyön määrä vähennee työmaalla. Haastatteluiden perusteella voidaan olettaa eristämättömän esivalmisteen olevan vähemmän altis vaurioitumaan esimerkiksi vesisateen aikana. Toisaalta tässä tapauksessa eristys tulee tehdä työmaalla.

7.3.3.5 IV-kone

Haastattelujen perusteella tunnistettiin modulaaristen IV-koneiden mahdollistavan rakentamisvaiheen nopeutumista. Toisaalta tunnistettiin moduuleihin liittyviä logistisia haasteita. Mahdollisuuksien ja haasteiden lisäksi tunnistettiin modulaaristen IV-koneisiin liittyviä työvaiheita työmaalla.

Haastatteluissa (N3 ja N4) kävi ilmi, että modulaariset IV-koneet mahdollistavat rakentamisen nopeutumista, vaikka IV-konetta ei täysin pystytty esivalmistamaan tehtaassa. Merkittävä osa työvaiheista voidaan tehdä työmaan ulkopuolella samaan aikaan, kun työmaalla tehdään muita työvaiheita, jolloin rakentamisvaiheen kesto lyhenee.

”Joo, kyllä niit [IV-koneet] joutuu, että ku ei niitä iha kokonaisina pysty tuomaa [...] Mut se, että ne testaukset tehtäis pajalla etukäteen. Sillä saadaan aikatauluu säästettyä sitte siellä loppupäässä.” (N11, Hanke 2)

Hankkeessa 2 IV-koneet on esivalmistettu tehtaalla, ja ne haalataan niin sanottuun tekniikkakerrokseen. Kerroksessa on valmistuspiste, jossa kone puretaan kuljetussuojista, varustellaan ja viedään lopulliseen paikkaansa. Valmistuspisteellä on myös pieni varasto, jossa on asentajalle nopeasti saatavilla tarvikkeita koneikon varustelua varten. Esivalmistuspiste lähellä lopullista asennuspaikkaa tehostaa toimintaa, sillä asentajien ei tarvitse etsiä työmaan

muista varastoista osia, vaan valmistuspisteellä on oma käsivarastonsa. Tämän lisäksi lähelle esivalmistuspistettä on järjestetty taukotilat työntekijöille. (N3 ja N4)

”[...] Siinä laskettiin, et ku se ihminen mennöö sinne ja se tulloo takasin, me tehään silleen viel, et me tehään työntekijöille sinne tila, missä ne voi tauot pitää ja käydä silleen, ettei tulis tätä välikulkua neljä kertaa päivässä. Nyt ku on tiedetty, aika menee sinne ja sit ku niit on ihmisii paljon, ni sit se on ajankäytöstä pois sitten. Et haetaan tehokkuutta sitä kautta siihen.” (N3, Hanke 2)

Hankkeessa 2 tunnistettiin logistisena haasteena kokonaisten IV-koneiden suuri koko. IV-koneet vaativat logistiikalta muun muassa riittävät nostoresurssit sekä riittävän suuret haalausaukot. Tästä syystä IV-koneita ei valmisteta täysin loppuun asti tehtaassa, vaan joitakin osia lisätään vielä työmaalla. Kookkaat modulaariset IV-koneet ovat myös hankalia liikutella kerroksessa. Ratkaisuna sisällä haalaamisessa käytetään IV-koneiden alla pyörästäjä. (N3 ja N4)

7.3.4 Ratkaisujen ja haasteiden yhteenveto

Tässä monitapaustutkimuksessa ilmeni useita logistisia haasteita sekä ratkaisuja, jotka on esitetty taulukossa 10. Haasteet voidaan jaotella ympäristöstä johtuviin sekä toimijoista johtuviin haasteisiin. Usein toistuvia ympäristöstä johtuvia haasteita olivat ahdas työmaa-alue ja vilkkaan sairaalakampuksen sijaitseminen välittömässä läheisyydessä. Usein toistuvia toimijoista johtuvia haasteita olivat tavarantoimituksen varmuuteen liittyvät ongelmat.

Tutkimuskohteista löydettiin myös erilaisia logistisia ratkaisuja, jotka jaetaan toimitusratkaisuihin sekä johtamis- ja viestintäratkaisuihin. Tunnistettuja toimitusratkaisuja hankkeissa olivat platform-hissit, erillinen varastointikenttä logistiikkakeskuksena, pientarvikevarasto sekä kadun sulkeminen kuljetusta varten. Johtamisratkaisuna havaittiin jokaisessa tapauskohteessa nimetty logistiikkavastaava. Tämän lisäksi johtamis- ja viestintäratkaisuja olivat täsmätoimitukset, logistiikkakalenteri sekä mahdollisesti tahti-tuotanto sisävalmistusvaiheessa.

Taulukko 10 Eri hankkeiden logistiset haasteet ja ratkaisut eriteltynä

Hanke	Logistiset haasteet	Logistiset ratkaisut
Hanke 1	Ympäristöstä johtuvat haasteet: <ul style="list-style-type: none"> Sijaitsee vilkkaan sairaalakampuksen vieressä. 	Johtamis- ja viestintäratkaisut: <ul style="list-style-type: none"> Logistiikkavastaava Toimitusratkaisut: <ul style="list-style-type: none"> Platformhissit Erillistä varastokenttää käytettiin pienimuotoisena logistiikkakeskuksena.
Hanke 2	Ympäristöstä johtuvat haasteet: <ul style="list-style-type: none"> Sairaala rakennetaan mäen päälle, ja alueelle on jyrkkä nousu. Tämä on huomioitava erityisesti talvella. Toimijoista johtuvat haasteet: <ul style="list-style-type: none"> Yksittäisten tavaratoimittajien aikataulutus on vaikeaa. Tavarantoimittajat eivät aina noudata lähestymisohjeita. 	Johtamis- ja viestintäratkaisut: <ul style="list-style-type: none"> Logistiikkavastaava Sähköinen logistiikkakalenteri Tabletteja ja puhelinsovelluksia käytetään toimitusten hallinnointiin ja tiedottamiseen. Toimitusratkaisut: <ul style="list-style-type: none"> Alueella on pientarvikevarasto, johon toimittajat tuovat ilmoittamatta pieniä toimituseriä.

		<ul style="list-style-type: none"> • Työmaan läheisyydessä olevaa aluetta käytetään varastoalueena.
Hanke 3	Ympäristöstä johtuvat haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Työmaa-alue on todella ahdas. • Työmaalla on rajalliset purkuresurssit, käytössä on vain yksi nosturi. Toimijoista johtuvat haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Tavarantoimittajat eivät aina noudata lähestymisohjeita. • Viestiketju katkeaa urakoitsijan ja lopullisen tavarantoimittajan välillä. • Aliurakoitsijoilla on taipumusta tilata reilusti yli tarvittavan määrän. 	Johtamis- ja viestintäratkaisut: <ul style="list-style-type: none"> • Logistiikkavastaava • Sähköinen logistiikkakalenteri Toimitusratkaisut: <ul style="list-style-type: none"> • Harvoissa tapauksissa katu oli varattu ainoastaan työmaan käyttöön. • Täsmätoimitukset
Hanke 4	Ympäristöstä johtuvat haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Sijaitsee vilkkaalla sairaalakampuksella. • Työmaa-alue on todella ahdas, ja kaupungilta on vuokrattu osittain jalankulkukatu työmaan puolelta. • Alueella on vanha huoltotunneli sekä useita kuiluja, jotka asettavat rajoitteita työmaalle. 	Johtamis- ja viestintäratkaisut: <ul style="list-style-type: none"> • Logistiikkavastaava • TAHTI-tuotannon käyttöä sisävalmistusvaiheessa selvitetään. Toimitusratkaisut: <ul style="list-style-type: none"> • Logistiikkakeskuksen käyttöä selvitetään. • Täsmätoimitusten käyttöä selvitetään.
Hanke 5	Ympäristöstä johtuvat haasteet: <ul style="list-style-type: none"> • Sijaitsee vilkkaalla sairaalakampuksella asuinalueen vieressä. • Työmaa-alue on todella ahdas. 	Johtamis- ja viestintäratkaisut: <ul style="list-style-type: none"> • Logistiikkavastaava Toimitusratkaisut: <ul style="list-style-type: none"> • Täsmätoimitukset

7.4 Tulosten yhteenveto

Tässä diplomityössä tutkitaan sairaalahankkeissa käytettäviä moduuleja sekä niiden kokonaisvaikutuksia. Tämän lisäksi selvitetään, mitä vaikutuksia moduuleilla on työmaan logistiikkaan.

Teemahaastatteluiden analysoinnista käy ilmi, että kussakin tutkittavassa kohteessa on käytetty moduuleja jollakin asteella. Tämän tutkimuksen mukaan eniten käytettyjä moduuleja ovat julkisivut, joita käytettiin yhteensä kolmessa eri tutkittavassa hankkeessa. Seuraavaksi suosituimpia ovat potilaspaneelit, joita käytettiin kahdessa hankkeessa ja mahdollisesti käytetään hankkeessa 4. Kylpyhuonemuoduuja käytettiin kahdessa hankkeessa. Muita yksittäisiä esivalmisteita on käytetty eri tapauskohteissa. Näitä ovat leikkaussalit, IV-koneet ja talotekniikkaelementit.

Tämän diplomityön monitapaustutkimus vastaa tutkimuskysymykseen (TK1) seuraavasti: sairaalahankkeissa käyttökelpoisia moduuleja ovat julkisivu-, kylpyhuone-, talotekniikka-, leikkaussali- ja potilaspaneelimuodulit. Viiden kohteen monitapaustutkimuksessa kutakin edellä mainittua moduulia oli käytetty vähintään yhdessä hankkeessa, ja enintään kolmessa hankkeessa todistaen modulaaristen ratkaisujen käytettävän sairaalarakentamisessa. Ratkaisut havaittiin toimiviksi ja käyttökelpoisiksi kohteissaan. On huomioitava, että kaikki moduuliratkaisut eivät välttämättä sovellu kaikkiin hankkeisiin, vaan moduulien käyttöä voivat rajoittaa projektin reunaehdot. Toisaalta on huomioitava myös, että projektin reunaehdot voivat pakottaa käyttämään modulaarisia ratkaisuja.

Tässä diplomityössä havaittiin useita erilaisia vaikutuksia moduulien käytöstä sairaalahankkeissa, jolloin voidaan vastata toiseen tutkimuskysymykseen (TK2). Moduuliratkaisujen käytölle löydettiin ajureita, esteitä, hyötyjä ja haasteita, jotka on esitetty taulukossa 11. Tämän lisäksi voitiin tunnistaa vaatimuksia, mitkä on syytä täyttää mahdollisimman häiriöttömän ja sujuvan rakennusprojektin saavuttamiseksi.

Moduulien käytölle ajureina ovat olleet kireä aikataulu, kustannussäästö, laadun parantaminen ja aiemmat kokemukset. Näistä useimmiten toistunut ja merkittävimpana on ollut kireä aikataulu. Kussakin hankkeessa nähtiin, että moduuleilla on ollut mahdollista nopeuttaa rakentamisvaihetta. Toisena ajurina tutkimuskohteissa on ollut potentiaaliset kustannussäästöt. Kustannussäästöt limittyvät osittain rakennusvaiheen lyhentymisen kanssa käyttö- ja yhteiskustannusten ollessa merkittävä kustannuserä. Ylläpitokustannuksia voidaan vähentää lyhentämällä rakentamisvaiheen kestoja. Toistuvuuden kasvaessa teolliset esivalmisteratkaisut nähtiin edullisemmaksi, kuin paikalla tehtynä. Tämän lisäksi uskottiin materiaalitehokkuuden olevan parempi käytettäessä moduuliratkaisuja.

Kolmantena ajurina ilmeni laadun parantaminen. Useassa tapaustutkimuskohteessa todetiinkin moduuliratkaisujen olevan parempilaatuisia kuin vastaavanlaisen ratkaisun rakentaminen paikan päällä. Hallituissa olosuhteissa työmaan ulkopuolella rakennustuotteen tuottaminen uskottiin olevan lopputulokseltaan paremman laatuinen, kuin paikan päällä muuttuvissa olosuhteissa. Esimerkiksi tehtaassa on jatkuvasti hyvä valaistus, tasainen lämpötila, kuiva tila sekä ergonominen työasento, kun työmaalla voidaan joutua työskentelemään pimeässä, sateessa, vaihtelevissa lämpötiloissa aina pakkasesta helteeseen, sekä tekemään työvaiheita vaikeissa ja jopa vaarallisissa työasennoissa.

Neljäntenä havaittiin aiempien kokemusten olevan yksi ajuri moduulien käytölle. Esimerkiksi hanke 1 toteutettiin yhteistyössä isobritannialaisten rakentajien kanssa. Haastattelussa kävi ilmi, että Isossa-Britanniassa esivalmisteita käytetäänkin paljon ahtaissa kaupunkiympäristöissä. Työn kulttuuriin liittyy olennaisena osana työskentelytavat, jotka tässä tapauksessa poikkeavat. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että uusia työskentelytapoja opittaessa myös moduulien käytöstä tulee totuttu tapa.

Tutkimuksessa tunnistettiin moduulien käytöllä yhteensä seitsemän hyötyä. Ensiksi useassa hankkeessa nähtiin moduulien lyhentävän merkittävästi rakentamisvaiheen kestoja. Toiseksi havaittiin moduulien tuottavan parempilaatuisen lopputuloksen, kuin mitä vastaava lopputulos olisi paikan päällä rakennettaessa. Kolmanneksi tunnistettiin alhaisemmat kokonaiskustannukset moduuleja käytettäessä. Nämä ilmenevät välittöminä kustannuksina, mikäli sarjan koko on suuri ja yksikköhinta alhaisempi, sekä välillisinä kustannuksina, mikäli moduuleilla saavutetaan lyhyempi rakennusvaiheen kesto.

Neljäntenä hyötynä havaittiin materiaalivirran merkittävä vähentyminen työmaalle. Tämä osaltaan vähentää muun muassa työn keskeytyksiä ja materiaalien vahingoittumisia. Viides hyöty moduulien käytöllä on parempi puhtaudenhallinta. Pölyäviä työvaiheita tehdään työmaan ulkopuolella, jolloin muun muassa siivouksen tarve työmaalla vähenee. Kuudentena hyötynä tunnistettiin parempi työturvallisuus. Työmaalla vähenee merkittävästi vaarallisissa paikoissa tehtävät työvaiheet. Seitsemänneksi huomattiin parempi materiaalikäytön tehokkuus ja hukan vähentyminen.

Edellä kuvatusta voidaan todeta, että hyödyt ja ajurit ovat osin samoja asioita. Hyötyä on, että hanke nopeutuu ja työmäärä vähenee työmaalla, mutta samalla se toimii ajurina käyttäen modulaarisia ratkaisuja. Toisaalta ajurina voi olla laadun parantaminen, ja hankkeessa toteutuukin parempilaatuisia ratkaisuja.

Esteinä modulaarisille ratkaisuille nousivat kallis hankintahinta, toimittajien kiinnostus sairaalahankkeita kohtaan sekä toistuvuuden puute. Yksittäisen moduulin valmistuskustannukset ovat suhteessa korkeat. Näin ollen moduuliratkaisut nähtiin epähoukuttelevana vaihtoehtona, sillä moduuleista aiheutuvat suorat kustannukset ovat korkeammat verrattuna paikan päällä rakentamiseen.

Toisena esteenä havaittiin toimittajien kiinnostuksen puute sairaalahankkeita kohtaan. Kiinnostuksen puutetta perusteltiin haastatteluissa sillä, että toimittajien kapasiteetti olisi myyty jo muihin projekteihin kuten laivateollisuuteen ja asuntorakentamiseen. Edellä mainittujen lisäksi moduuliratkaisuja hylättiin vaihtoehtona toistuvuuden puutteen takia. Uskottiin, että kustannuksia saadaan pienennettyä ainoastaan kasvattamalla toistuvuutta, vaikka tämä ei välttämättä pidä paikkansa.

Esteiden lisäksi monitapaustutkimuksessa havaittiin moduuliratkaisuissa haasteita, jotka liittyvät rakentamisalan tapoihin. Tarkat suunnitelmat tulee laatia jo hyvin aikaisessa vaiheessa toimittajan kanssa. Haastatteluiden perusteella voidaan tehdä johtopäätös seuraavasti: mitä aikaisemmassa vaiheessa saadaan valittua moduulitoimittaja, sitä todennäköisemmin voidaan saavuttaa potentiaaliset hyödyt kuten kustannussäästö ja lyhyempi rakentamisvaiheen kesto.

Toisena haasteena havaittiin hankala kustannusvertailu moduulien ja paikan päällä rakentamisen välillä. Moduulirakentaminen ja paikan päällä rakentaminen poikkeavat monilta eri osin. Tästä syystä on hankala rajata, mikä kuuluu moduulirakentamiseen ja mikä paikan päällä rakentamiseen. Näin ollen ei voida olla varmoja onko laskelmiin sisällytetty molemmissa tapauksissa samat asiat. Tämän lisäksi haasteena on monimutkaiset syy-seuraus-suhteet: ei voida täysin varmuudella osoittaa, johtuiko lyhyempi rakentamisvaiheen kesto täysin moduuliratkaisuista, vai oliko taustalla muita tekijöitä. Tällaisia tekijöitä voisivat olla esimerkiksi ennestään tutut ja luotettavat sidosryhmät.

Taulukko 11 Eri moduulien ajurit, hyödyt, esteet ja haasteet

Moduuli	Ajurit & hyödyt	Esteet & haasteet
Leikkaussali	<ul style="list-style-type: none"> • Laatu, • Ajansäästö • Käytönaikainen puhtaudenhallinta • Selkeä urakan vastuunjako 	<ul style="list-style-type: none"> • Toimittajan valvonta • Kallis hankintahinta
Potilaspaneeli	<ul style="list-style-type: none"> • Ajansäästö • Logistiikan yksinkertaistuminen, • Kustannussäästö 	<ul style="list-style-type: none"> • Kallis hankintahinta
Kylpyhuone	<ul style="list-style-type: none"> • Ajansäästö • Puhtaudenhallinta • Logistiikan yksinkertaistuminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kallis hankintahinta • Logistiset haasteet • Suunnitelmien oltava tarkkoja aikaisessa vaiheessa
TATE-käytävä	<ul style="list-style-type: none"> • Ajansäästö • Laatu • Ergonomia • Materiaalitehokkuus 	<ul style="list-style-type: none"> • Suunnitelmien oltava tarkkoja aikaisessa vaiheessa
IV-kone	<ul style="list-style-type: none"> • Ajansäästö • Laatu • Puhtaudenhallinta 	<ul style="list-style-type: none"> • Logistiset haasteet
Julkisivu	<ul style="list-style-type: none"> • Ajansäästö • Laatu 	<ul style="list-style-type: none"> • Logistiikka julkisivujen umpeuttua

Tämän diplomityön tulokset osoittavat, että sairaalahankkeissa käytettävät moduulit voivat toimia osana logistista ratkaisua, mutta samaan aikaan ne myös vaativat logistiikalta tietynlaisia ratkaisuja. Seuraavissa kappaleissa vastataan tutkimuskysymykseen TK3 tapaustutkimuskohteiden näkökulmasta.

Työssä tunnistettiin kaksi moduuliratkaisua, jotka mahdollistavat tiettyjä logistisia asioita. Ensimmäinen on julkisivuelementtien tuomat mahdollisuudet lyhentää huomattavasti rakennusvaiheen kestoa. Julkisivumoduuleilla nimittäin päästään merkittävästi aiemmin sisävalmistusvaiheeseen. Moduulit asennettiin kohteessa aikaisin aamulla tai myöhemmin iltpäivästä, ja runkoelementtejä asennettiin päivällä. Toimimalla näin pystyttiin myös kasvattamaan nostoresurssien käyttöastetta.

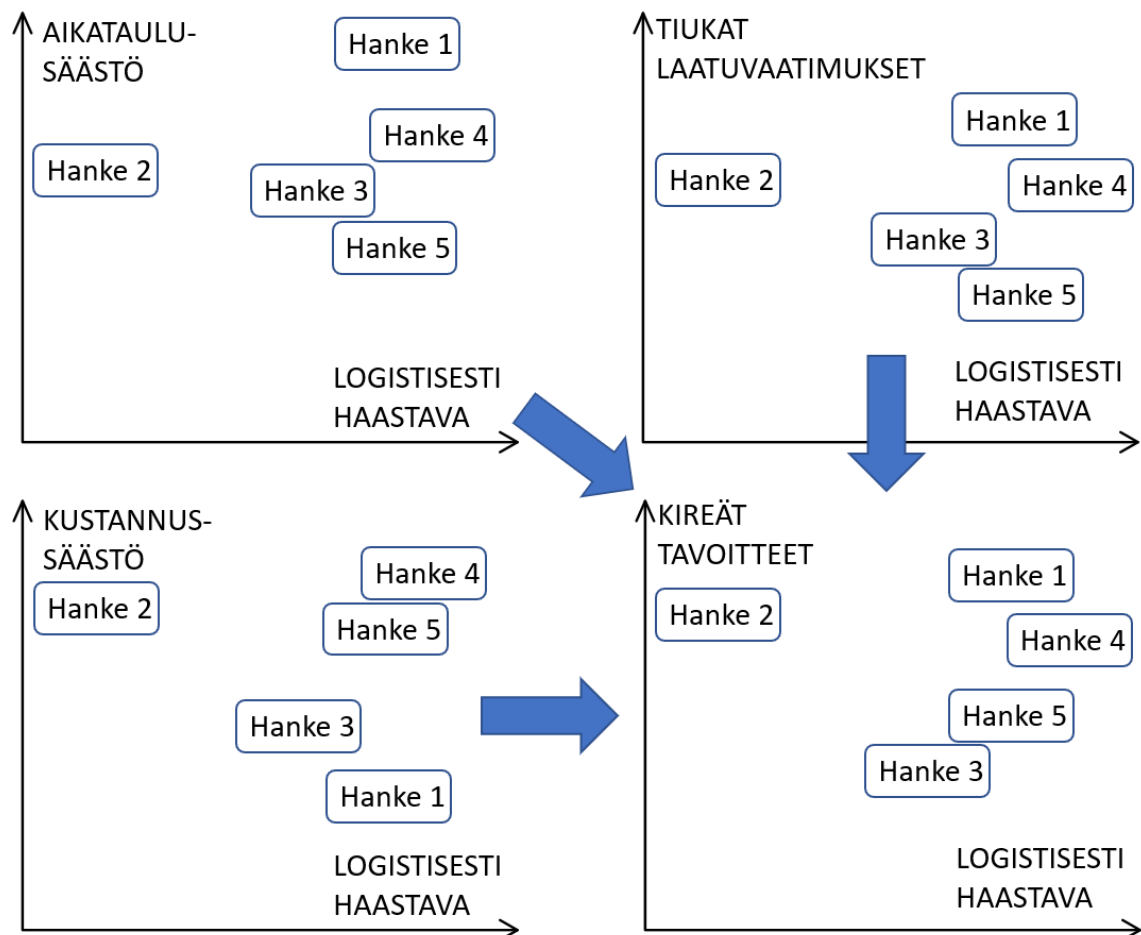
Toinen moduuliratkaisu liittyy työmaan esivalmistuspisteeseen. Modulaarisilla IV-koneilla voidaan nostaa esivalmistusastetta. Esivalmistetut IV-koneet tuodaan tehtaalta työmaalle siihen kerrokseen, johon koneet lopulta sijoitetaan. Kerroksessa haalausaukon läheisyydessä on koneen varustelupiste ja käsivarasto. Näin toimimalla vältetään niin materiaalien ylimääräistä siirtämistä kuin henkilöstön tarpeetonta liikkumista johtaen tehokkaampaan rakentamiseen.

Toisaalta moduulit vaativat logistiikalta tietyn tyyppisiä ratkaisuja, joita tässä tutkimuksessa tunnistettiin yhteensä kaksi. Toisaalta, moduulit vaativat riittävät logistiikkaresurssit. Näihin lukeutuvat niin kuljetus- ja nostoresurssit, kuin asianmukaiset varastointitilat. Isojen moduu-

lien kuljetusten suunnittelussa on huomioitava muun muassa reitin kantavuus ja siltojen alitukset. Nostoresurssit pitää suunnitella siten, että moduulit voidaan siirtää lopulliseen paikkaansa.

Toisaalta logistiikkavastuu on selkeästi määritettävä esimerkiksi nimeämällä logistiikkavastaava. Mitä enemmän logistiikkavastaava voi keskittyä logistiikan suunnitteluun, toteutukseen ja valvontaan, sitä todennäköisemmin työmaa toimii häiriöttömästi. Logistiikkavastaava voi käyttää työkaluinaan muun muassa sähköistä logistiikkakalenteria ja tietomallia tehostaakseen omaa työtä ja tiedonkulkua.

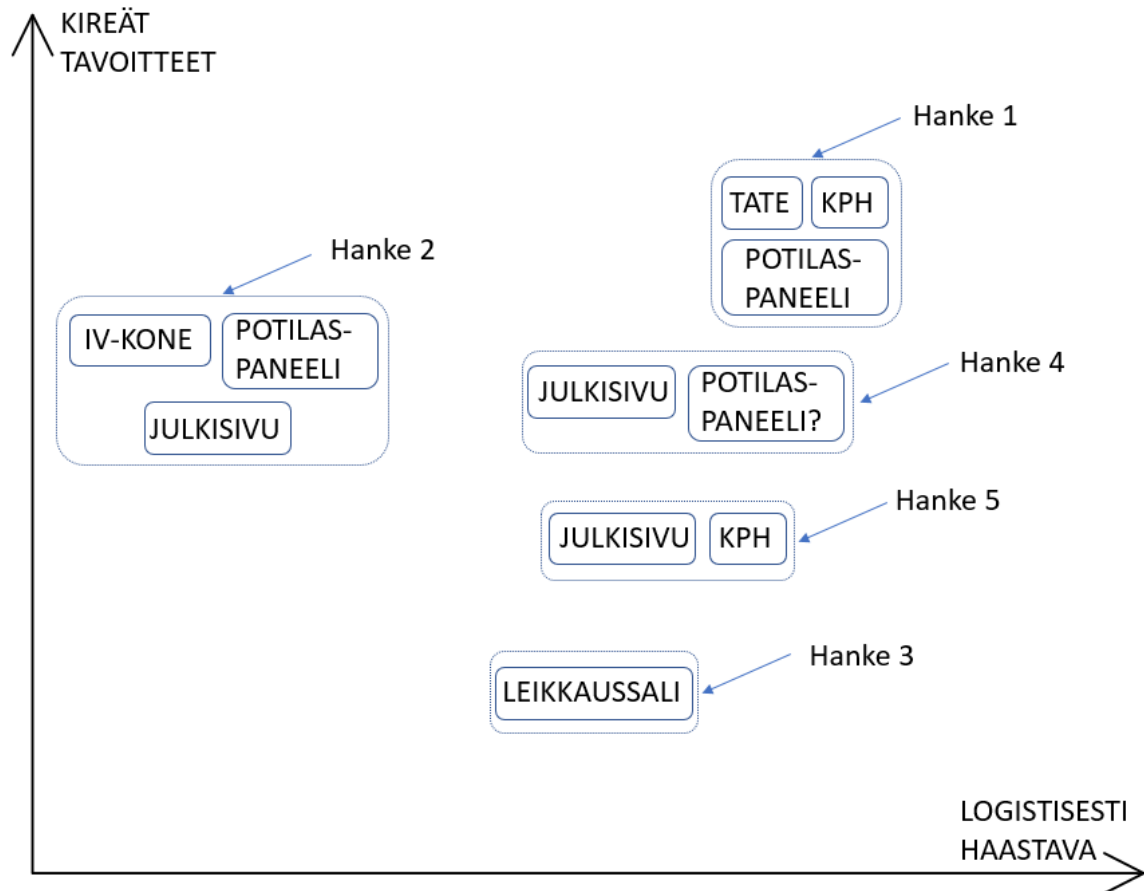
Tämän monitapaustutkimuksen yhteenvetona voidaan todeta, että haastava hanke ja tiukat vaatimukset johtavat osiltaan moduuliratkaisujen käyttöön kuvien 13 ja 14 mukaisesti. Kuvajissa on vaaka-akselilla logistinen haastavuus. Logistisella haastavuudella tarkoitetaan esimerkiksi purkupaikkojen vähyyttä, käynnin vaikeutta työmaalle ja varastointitilojen vähyyttä. Pystyakselilla on kuvattu hankkeelle asetettuja tavoitteita, joita ovat esimerkiksi aikataulu- ja kustannussäästöt.



Kuva 13 Eri tavoitteita hankkeelle suhteessa logistiseen haastavuuteen

Kuvan 14 perusteella voidaan todeta, että kireämmät tavoitteet ja logistisesti haastavat olosuhteet johtavat suurella todennäköisyydellä moduuliratkaisujen käyttöön. Hankkeessa 1 käytettiin kolmea eri moduuliratkaisua projektin ollessa kaikista vaikein sijoittumalla kuvaajassa oikeaan yläkulmaan. Hankkeessa 4 mahdollisesti käytetään ja hankkeessa 5 käytettiin

kahta eri moduuliratkaisua projektin sijaiten kuvaajassa keskellä. Toisaalta hankkeessa 3 hyödynnettiin ainoastaan yhtä moduuliratkaisua, ja sijaitsee kuvaajassa alimpana.



Kuva 14 Tavoitteet suhteessa logistiseen haastavuuteen sekä moduuliratkaisut eriteltynä

8 VIITEKEHYS MODUULIRATKAISUJEN HYÖDYNTÄMISESTÄ SAIRAALAHANKKEESSA

Tapaustutkimuskohteista tunnistettiin kolme moduuliratkaisutyyppiä: tilamoduuli, paneeli ja talotekniikkamoduuli. Tilamoduuleja ovat kylpyhuoneet ja leikkaussalit, paneeleja ovat julkisivut ja potilaspaneelit, sekä talotekniikkamoduuleja ovat käytävälle asennettavat moduulit ja IV-koneet. Nämä moduulit soveltuvat erilaisiin hankkeisiin, niissä on tunnistettavia samanlaisia sekä erilaisia hyötyjä, ja niiden käytössä on otettava huomioon osin samoja ja osin eri asioita.

Tätä varten tässä diplomityössä esitetään seuraavaksi viitekehys taulukossa 12 moduuliratkaisujen hyödyntämiseen sairaalahankkeessa. Sen perusteella voidaan arvioida kunkin moduuliratkaisun soveltuvuutta hankkeen tavoitteiden ja logististen reunaehtojen näkökulmasta. Viitekehys selittää mekanismeja, joilla moduuleista saadaan hyötyjä. Tämän lisäksi avataan moduulien käytössä huomioitavia tekijöitä. Esimerkiksi kireän aikataulun hankkeeseen soveltuva kylpyhuonemoduuli on hyödyllinen ainoastaan, mikäli sairaalan käyttäjiä kuullaan ajoissa, ja päätetään moduulien käytöstä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Taulukko 12 Viitekehys moduuliratkaisun valitsemiseksi ja soveltamiseksi sairaalahankkeessa

Moduuli	Soveltuvuus	Potentiaaliset hyödyt	Huomioon otettavia asioita
<i>Tilamoduuli</i>			
Kylpyhuone	-Soveltuvat hankkeisiin, joissa on korkea toistuvuus sekä kireä aikataulu.	-Toimitusten määrä vähenee merkittävästi työmaalle. -Toimijoiden määrä vähenee merkittävästi työmaalla. -Kylpyhuone-esivalmisteilla voidaan saavuttaa aikataulusäästöjä.	-Käyttäjien toiveita on kuultava riittävän ajoissa. -Mahdollisimman aikaisessa vaiheessa on päätettävä moduuliratkaisun käytöstä. -Olisi hyvä valita mahdollisimman varhaisessa vaiheessa toimittaja sekä aloittaa yhteistyö toimittajan kanssa.
Leikkaussali	-Soveltuvat hankkeisiin, joissa kireä aikataulu, ahdas työmaa-alue sekä korkeat puhtausvaatimukset.	-Leikkaussali tulee avaimet käteen-periaatteella yhdeltä toimittajalta sisältäen puhdastilaelementit, saliohjauksen ja sairaalalaitteet. -Mahdollista saada aikataulusäästöjä	-Suunnittelussa otettava huomioon ilmanvaihdolle ja muille leikkaussalin toimintoille riittävät tilavaraukset. -Toimittajan valvontaan tulee kiinnittää huomiota
<i>Paneeli</i>			
Julkisivu	-Soveltuvat hankkeisiin, joilla on kireä aikataulu, ja joiden työmaa-alue on ahdas.	-Saavutettavissa merkittäviä aikataulusäästöjä, sillä sisävalmistusvaiheeseen päästään huomattavasti aiemmin. -Töiden vaiheistamisella voidaan maksimoida nostokapasiteetti. Esimerkiksi päivällä rungon kasaamista, ja iltaisin julkisivuelementtien asentamista.	-Julkisivuelementit on huomioitava logistiikan suunnittelussa ja toteutuksessa, sillä asennusten jälkeen haalausreitit vähenevät merkittävästi. -Suunnittelussa on otettava huomioon rajapinnat.
Potilaspaneeli	-Soveltuvat hankkeisiin, joilla on kireä aikataulu, ja joilla halutaan minimoida eri urakoitsijoiden lukumäärä mestalla.	-Kustannussäästöt -Aikataulusäästöt -Logistiikan merkittävä vähentyminen	-Kalusteurakan kilpailutus
<i>Talotekniikkamoduuli</i>			
Käytäväelementti	-Soveltuvat hankkeisiin, joilla on kireä aikataulu.	-Aikataulusäästö työmaalla on ilmeinen. -Parempi materiaalitehokkuus saavutettavissa -Merkittävästi parempi työturvallisuus ja ergonomia -Riski ylimääräisistä putki- ja kanavatoimituksista vähenee.	-Kiinnitettävä huomiota urakkarajoihin sekä työehtosopimuksiin.
IV-kone	-Soveltuvat hankkeisiin, joilla on kireä aikataulu.	-Kustannussäästö -Parempi laatu -Parempi puhtaudenhallinta rakentamisen aikana	-Suuren koon takia huomioitava logistiikassa mm. riittävä nostokapasiteetti sekä sisähaalausvaiheessa pyörästöt.

9 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Vuonna 2017 rakenteilla oli sairaalahankkeita, joiden yhteenlasketut rakennuskustannukset olivat yli miljardi euroa. On myös todettu, että rakentamisala on tehoton teollisuudenala. Vain noin 30 % käytettävästä työajasta kuluu työsuoritukseen. 30 % kuluu materiaalin siirtämiseen ja loput 40 % odottamiseen. Kirjallisuuden perusteella tehokkuutta on mahdollisuus lisätä 10-30 % logistiikkaa parantamalla. Muilla teollisuudenaloilla on pystytty merkittävästi parantamaan tehokkuutta standardoimalla ja moduloimalla komponentteja. Tämän työn tarkoitus oli tutkia moduulien käytön vaikutuksia sairaalarakennushankkeissa olemassa olevaan sairaalatoimintaan ja työmaan logistisiin ratkaisuihin. Tämän lisäksi oletettiin aieman tiedon mukaan eri esivalmisteratkaisut vaativan erilaisia logistisia ratkaisuja.

Häiriöttömän sairaalatoiminnan takaaminen rakentamisen aikana on haaste, johon modulaariset esivalmisteet voivat olla potentiaalinen ratkaisu. Modulaarisilla ratkaisuilla voidaan parantaa rakentamisen laatua, alentaa kokonaiskustannuksia, lyhentää rakennusvaiheiden kestoja sekä vähentää kuormien määrää. Tässä työssä tunnistettiin sairaalahankkeissa käyttökelpoisiksi modulaarisiksi ratkaisuihin julkisivu-, kylpyhuone-, talotekniikka-, leikkaussali- sekä potilaspaneelimoduulit. Työmaalle saapuvan ja sieltä pois lähtevien toimitusten vähentyminen vähentää sairaalan logistiikan häiriöitä.

Tapaustutkimuksissa kävi ilmi, että aikataulu, laatu ja kustannukset ovat merkittäviä asioita, jotka vaikuttavat siihen, käytetäänkö projektissa esivalmisteita vai ei. Toisaalta, yhdessä hankkeessa modulaarisen ratkaisun laadun ei uskottu eroavan merkittävästi perinteisestä rakentamistavasta, kun taas toisessa hankkeessa sillä uskottiin olevan paljonkin merkitystä.

Moduuli ei ole aina kaikista järkevin valinta. Joissain hankkeissa halutaan säilyttää valinnanvapaus viimeiseen mahdolliseen pisteeseen asti. Esimerkiksi kylpyhuoneessa halutaan vaikuttaa käsiannostelijan paikkaan mahdollisimman myöhäiseen vaiheeseen asti, jotta saavutetaan mahdollisimman hyvä lopputulos sairaalan käyttäjien näkökulmasta. Tämä tosin on moduulijattelua vastaan. Tilaesivalmisteen yhtenä keskeisenä piirteenä on, että tiedetään mahdollisimman tarkasti mahdollisimman varhain, millainen lopullisen tilan tulee olla.

9.1 Tutkimuksen tuottama teoreettinen tieto

Tapaustutkimuksessa tunnistettiin useita samankaltaisuuksia aiempaan kirjallisuuteen verrattuna. Monitapaustutkimuksessa pystyttiin tunnistamaan samankaltainen jaottelu modulaarisuusasteiden välillä kuin mitä kirjallisuudessa on esitetty (Gibb ja Isack 2003; Gosling ym. 2016). Monitapaustutkimus myös vahvistaa kirjallisuudessa esitettyjä moduuliratkaisujen vaikutuksia rakentamisessa monilta osin (Gibb ja Isack 2003). Esimerkiksi suorissa kustannusvertailuissa perinteinen rakentamistapa on usein modulaarisia ratkaisuja edullisempi vaihtoehto, vaikka kustannussäästöjä moduuleilla voitaisiinkin saavuttaa hyödyntämällä mittakaavaetuja (Blismas ym. 2006; Gann 1996).

Myös aikaisemman tutkimuksen esittämiä logistisia vaikutuksia tunnistettiin. Logistiikan suunnittelua ja toteutusta ohjaa merkittävästi projektin reunaehdot, jotka olivat samankaltaisia tapauskohteissa kuin mitä aiemmat tutkimukset esittävät (Agapiou ym. 1998; Naakka 2014, 15). Toisaalta aikaisemmasta tutkimuksesta ei löytynyt tietoa, miten moduuliratkaisut vaikuttavat logistiikan suunnitteluun. Vaikutuksia monitapaustutkimuksessa pystyttiin tunnistamaan. Yksi tällainen on esimerkiksi julkisivupaneelien asennuksesta aiheutuvat vaikutukset työn vaiheistukseen ja materiaalien haalaamiseen sisälle.

9.2 Suositukset käytännön toimijoille

Tämän työn tulosten perusteella annetaan käytännön toimijoille neljä suositusta. Ensiksi suositellaan, että moduuliratkaisujen käytöstä tulee päättää mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tällä tavoin toimimalla voidaan vaikuttaa vapaammin esimerkiksi suunnitelmiin, ja ottaa huomioon eri tilojen ja järjestelmien rajapinnat. Mitä pidemmälle projekti etenee, sitä enemmän sidotaan kustannuksia ja päätöksiä.

Toiseksi ehdotetaan moduuliratkaisujen valitsemisen työkaluksi tyyppitilamenettelyä. Tyyppitilamenettelyssä voidaan tunnistaa suuresta rakennusmassasta keskenään samankaltaisia tiloja kuten kylpyhuoneet. Tämä osaltaan nopeuttaa ja selkeyttää suunnitteluprosessia.

Kolmanneksi tämän työn pohjalta ehdotetaan, että eri ratkaisuvaihtoehtojen kustannusvertailussa tulee ottaa huomioon sekä välilliset että välittömät kustannukset. Välillisiä kustannuksia ovat esimerkiksi työmaan ylläpidosta aiheutuvat kustannukset ja välittömiä kustannuksia ovat muun muassa materiaalien hankintahinta. Rakentamisen kustannukset koostuvat kahden edellä mainitun kustannuslajin summasta.

Neljänneksi työn pohjalta ennustetaan, että moduuliratkaisuja tullaan käyttämään tulevaisuudessa enenevässä määrin kokemusten karttuessa. Moduuliratkaisut ovat uudenlainen tapa rakentaa, ja niin kuin muillakin teollisuudenaloilla, myös rakentamisessa ensimmäiset prototyypit eivät ole aina voittoa tuottavia, vaan pikemminkin tappiollisia. Kokemuksen myötä kuitenkin moduuliratkaisuihin voidaan saavuttaa edullisempi kokonaistulos verrattuna paikalla rakentamiseen.

9.3 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi ja jatkotutkimusaiheet

Tutkimuksen tuloksena esitetty viitekehys moduuliratkaisujen valitsemiseksi ja sovellettavaksi sairaalahankkeissa voidaan käyttää tietyllä varovaisuudella. Viitekehysten tarkoituksena on antaa suuntaviivoja sairaalarakennushankkeille mahdollisista moduuliratkaisuksista, niihin liittyvistä hyödyistä ja huomioon otettavista asioista. Tähän viitekehykseen ei välttämättä ole kaikkia mahdollisia ratkaisuja eritelty, vaan konstruktiossa on eritelty monitapaustutkimuksessa esiin tulleet moduuliratkaisut sekä hyödynnetty tutkimuskohteiden kokemuksia ja näkemyksiä kyseisistä ratkaisuksista.

Tässä diplomityössä käytettiin tutkimusmenetelminä kirjallisuustutkimusta, tiedonkeruu- ja analysointimenetelmiä. Työssä oli konstrukttiivinen tutkimusote, ja työn tulos, viitekehys on esitetty luvussa 8. Tämän tutkimuksen tulokset perustuvat aiempaan kirjallisuuteen, neljään suomalaiseen sekä yhteen ruotsalaiseen tapaustutkimuskohteeseen. Tutkimusta varten haastateltiin yhteensä 12 henkilöä, joista suurin osa oli pääurakoitsijoita. Lisähaastattelut käyttäjiltä ja suunnittelijoilta voisi tuoda tutkimukseen uutta tietoa liittyen esimerkiksi toteutuneiden moduuliratkaisujen käytettävyyteen. Tutkimuksen luonne oli kvalitatiivinen, ja tarkempia tuloksia varten tulisi aiheutta tutkia kvantitatiivisesti. Esimerkiksi tässä työssä ei otettu kantaa kuinka mittavia kustannus- tai aikataulusäästöjä saavutettiin käyttämällä modulaarisia ratkaisuja.

Tämä diplomityö ehdottaa kaksi jatkotutkimusaihetta. Ensimmäinen liittyy moduulien kustannusvertailun parantamiseen, ja toinen tavarantoimittajan toimitusvarmuuteen ja siihen liittyvän tiedottamisen parantamiseen.

Tutkimuksessa nousi esiin, että moduulien kustannusvertailu on hyvin haastavaa sekä moduulien välillä, että moduulien ja paikan päällä rakentamisen välillä. Kustannusvertailuun liittyy useita eri tekijöitä, joita on vaikea ottaa kaikkia huomioon. Esimerkiksi on haastavaa arvioida, nopeuttaako moduuliratkaisu rakentamisvaihetta vai ei, ja minkä suuruisia säästöjä siitä koituisi. Jatkotutkimuksissa tulisi selvittää, mitä nämä eri tekijät olisivat, miten ne vaikuttavat kustannuksiin, ja minkä suuruisina.

Jatkossa tulisi tutkia tietovirran kulkua työmaan ja tavarantoimittajan välillä. Haasteena havaittiin tavarantoimittajan huono toimitusvarmuus. Usein toimitukset saapuivat työmaalle joko liian aikaisin tai liian myöhään, mikä aiheutti ylimääräistä työtä ja kustannuksia työmaalla. Kävi ilmi, ettei tavarantoimittajilla ollut aina esimerkiksi lähestymisohjeita, joissa kerrottaisiin muun muassa purkuaika ja -paikka. Haastattelussa ehdotettiinkin samanlaista järjestelyä, joka on saatavilla yksityisillä henkilöillä lähettäessään tavaraa esimerkiksi postitse. Työmaa, kuten tavarantoimittajat yksityisillä markkinoilla, tietäisi aina toimitettavan materiaalin sijainnin.

LÄHDELUETTELO

- Aatsalo, J. (2017) Yli miljardin edestä sairaalahankkeita menossa – Kotka, Kouvola ja Rovaniemi seuraavaksi? Rakennuslehti. 14.3.2017 [Verkkolehti]. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2017/03/yli-miljardin-edesta-sairalahankkeita-menossa-kotka-kouvola-ja-rovaniemi-seuraavaksi/> [Viitattu 9.2.2018]
- Abrantes, V., Rangel, B. ja Amorim Faria, J. (2017) The Pre-Fabrication of Building Facades. Heidelberg, Saksa: Springer International Publishing 2017. 96 s. ISBN 978-3-319-22695-8
- Adebayo, A. K., Price, A. D. F. ja Gibb, A. G. F. (2006) Impact of modern methods of construction on healthcare infrastructure. Teoksessa: Proceedings 22nd Annual ARCOM Conference, Birmingham, Yhdistynyt kuningaskunta, 4-6.9.2006. s. 969-977.
- Agapiou, A., Clausen, L.E., Flanagan, R., Norman, G. ja Notman, D. (1998) The role of logistics in the materials flow control process. Construction Management & Economics [Verkkolehti]. Vol. 16:2 s. 131-137. ISSN: 1466-433X Saatavissa: DOI 10.1080/014461998372420 [Viitattu 28.7.2018]
- Anttila, P. (2014) Tutkimisen taito ja tiedon hankinta. Saatavissa: <https://metodix.fi/2014/05/17/anttila-pirkko-tutkimisen-taito-ja-tiedon-hankinta/#9.2.1%20Tapaustutkimus> [Viitattu 31.5.2018]
- Azman, M. N. A., Ahmad, M. S. S. ja Wan Hussin, W. M. A. (2012) Comparative Study on Prefabrication Construction Process. International Surveying Research Journal [Verkkolehti]. Vol. 2:1 s. 45-58. ISSN: 2232-1309 Saatavissa: http://www.academia.edu/download/33202339/2012_ISRJ.pdf [Viitattu 21.5.2018]
- Balaras, C. A., Dascalaki, E. ja Gaglia, A. (2007) HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms. Energy and Buildings [Verkkolehti]. Vol. 39:4. s. 454-470. ISSN: 0378-7788 Saatavissa: DOI 10.1016/j.enbuild.2006.09.004 [Viitattu 12.8.2018]
- Baldwin, C. Y. ja Clark, K. B. (2004) Managing in an Age of Modularity. Teoksessa: Tushman, M. L ja Anderson, P. (toim.) Managing strategic innovation and change: a collection of readings. New York, Yhdysvallat: Oxford University Press, Inc. ISBN: 0-19-51377-6
- Ballard, G. ja Arbulu, R. (2004) Making Prefabrication Lean. Teoksessa: Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Helsingør, Tanska. 3-5.8.2004 14 s.
- Bildsten, L. (2011) Exploring the opportunities and barriers of using prefabricated house components. Teoksessa: Proceedings of the 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Lima, Peru. 13-15.7.2011 10s.
- Blismas, N., Pasquire C. ja Gibb, A. (2006) Benefit evaluation for off-site production in construction. Construction Management and Economics [Verkkolehti]. Vol. 24:2. s. 121-130. ISSN: 1466-433X Saatavissa: DOI 10.1080/01446190500184444 [Viitattu 8.2.2018]

Blismas, N. Pendlebury, M., Gibb, A. ja Pasquire, C. (2005) Constraints to the Use of Off-site Production on Construction Projects. Architectural Engineering and Design Management [Verkkolehti]. Vol. 1:3. s. 153-162. ISSN: 1752-7589 Saatavissa: DOI 10.1080/17452007.2005.9684590 [Viitattu 8.2.2018]

Chan, A. P. C., Scott, D. ja Chan, A. P. L. (2004) Factors Affecting the Success of a Construction Project. Journal of Construction Engineering and Management [Verkkolehti]. Vol 130:1. s.153-155. ISSN: 1943-7862 Saatavissa: DOI 10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:1(153) [Viitattu 30.7.2018]

Doran, D. ja Giannakis, M. (2011) An examination of a modular supply chain: a construction sector perspective. Supply Chain Management: An International Journal [Verkkolehti]. Vol. 16:4 s. 260–270. ISSN: 1359-8546 Saatavissa: DOI 10.1108/13598541111139071 [Viitattu 17.1.2018]

Duray, R. (1997) Mass Customization Configurations: an Empirical Investigation of Manufacturing Practises of Customization. [Verkkodokumentti]. Väitöskirja. The Ohio State University, Columbus, Ohio, Yhdysvallat. 263 s. Saatavissa: https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=osu1487944660930881&disposition=inline [Viitattu 26.7.2018]

Dvir, D. ja Lechler, T. (2004) Plans are nothing, changing plans is everything: The impact of changes on project success. Research Policy [Verkkolehti]. Vol. 33:1 s. 1–15. ISSN: 0048-7333 Saatavissa: DOI 10.1016/j.respol.2003.04.001 [Viitattu 12.7.2018]

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. ja Liston, K. (2008) BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Hoboken, New Jersey, Yhdysvallat: John Wiley & Sons, Incorporated. ISBN: 978-0-470-18528-5

Elfving, J. A., Ballard, G., ja Talvitie, U. (2010) Standardizing logistics at the corporate level towards lean logistics in construction. Teoksessa: Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Haifa, Israel. 14-16.7.2010 s.222-231

ELY-keskus (2017) Erikoiskuljetukset – Erikoiskuljetusluvan tarve, hakeminen ja käytännön toimenpiteet. Tampere [Verkkodokumentti] 16 s. Saatavissa: http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/139801/erikoiskuljetukset_esite_2010_erikoiskuljetusluvan_tarve_hakeminen_ja_kaytannon_toimenpiteet.pdf/cbcf0229-5b1f-4e7e-8d9b-9bad0a271b51 [Viitattu 30.7.2018]

Erixon, G. (1998) Modular function deployment: a method for product modularization. 188 s. Kuninkaallinen teknillinen korkeakoulu, Tukholma, Ruotsi. ISSN: 1104-2141

Eskola, J. ja Suoranta, J. (1998) Johdatus laadulliseen tutkimukseen. 2. painos. Tampere: Vastapaino. 268 s. ISBN: 951-768-035-X

Fine, C. H. (1998) Clockspeed – Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage. New York, Yhdysvallat: Perseus Books. 272 s. ISBN: 0-7382-0153-7

Friedman, A. ja Cammalleri, V. (1997) Cost Reduction through Prefabrication: A Design Approach. Housing and Society [Verkkolehti]. Vol. 24:1 s. 1-14. ISSN: 2376-0923 Saatavissa: DOI 10.1080/08882746.1997.11430257 [Viitattu 14.6.2018]

Gann, D. M. (1996) Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan. Construction Management and Economics [Verkkolehti]. Vol. 14:5. s. 437-450. ISSN: 1466-433X Saatavissa: DOI 10.1080/014461996373304 [Viitattu 14.6.2018]

Gibb, A. G. F. (2001) Standardization and pre-assembly – distinguishing myth from reality using case study research. Construction Management and Economics [Verkkolehti]. Vol. 19:3. s. 307-315. ISSN: 1466-433X Saatavissa: DOI 10.1080/01446190010020435 [Viitattu 17.6.2018]

Gibb, A. G. F. ja Isack, F. (2003) Re-engineering through pre-assembly: Client expectations and drivers. Building Research and Information [Verkkolehti]. Vol. 31:2. s. 146-160. ISSN: 1466-4321 Saatavissa: DOI 10.1080/09613210302000 [Viitattu 11.1.2018]

Gosling, J., Pero, M., Schoenwitz, M., Towill, D. ja Cigolini, R. (2016) Defining and Categorizing Modules in Building Projects: An International Perspective. Journal of Construction Engineering and Management [Verkkolehti]. Vol. 142:11. s. 1-12. ISSN: 1943-7862 Saatavissa: DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001181 [Viitattu 11.1.2018]

Haara, T. (2018) Betonitekniikan oppikirja 2018. 6. painos. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry. 568 s. ISBN: 978-952-68619-4-4

Hamzeh, F. R., Tommelein, I. D., Ballard, G. ja Kaminsky, P. M. (2007) Logistics Centers To Support Project-Based Production in the Construction Industry. Teoksessa: Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, East Lansing, Michigan, Yhdysvallat. 18-20.7.2007. s.181-191.

Hardin, B. ja McCool, D. (2015) BIM and construction management – proven tools, methods and workflows. 2. painos. Indianapolis, Indiana, Yhdysvallat: Sybex. 404 s. ISBN: 978-1-118-94277-2

Helminen, J. (2016) Tietomallipohjaisen rakennettavuuden hallinta koulurakennuksen tuotantovaiheessa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. 90 s. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/19966> [Viitattu 17.8.2018]

Hinze, J. ja Wiegand, F. (1992) Role of designers in construction worker safety. Journal of Construction Engineering and Management [Verkkolehti]. Vol. 118:4. s. 677-684. ISSN: 1943-7862 Saatavissa: DOI 10.1061/(ASCE)0733-9364(1992)118:4(677) [Viitattu 8.8.2018]

Hirsjärvi S. ja Hurme, H. (2001) Tutkimushaastattelu – Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press. 213 s. ISBN: 951-570-458-8

Hong, J., Shen, G. Q., Mao, C., Li, Z. ja Li, K. (2016) Life-cycle energy analysis of prefabricated building components: An input-output-based hybrid model. Journal of Cleaner Production [Verkkolehti]. Vol. 112:4. s. 2198-2207. ISSN: 0959-6526 Saatavissa: DOI 10.1016/j.jclepro.2015.10.030 [Viitattu 17.8.2018]

- Hytönen, Y. ja Seppänen, M. (2009) Tehdään elementeistä: suomalaisen betonielementtirakentamisen historia. Helsinki: SBK-säätiö. 332 s. ISBN: 978-952-92-5772-0
- James, P. W. ja Tatton-Brown, W. (1986) Hospitals: Design and Development. Lontoo, Yhdistynyt kuningaskunta: Architectural Press LTD. 210 s. ISBN: 0-85139-299-7
- Jefferies, M., Brewer, G., J. ja Gajendran, T. (2014) Using a case study approach to identify critical success factors for alliance contracting. Engineering, Construction and Architectural Management [Verkkolehti]. Vol. 21:5. s. 465-480. ISSN: 0969-0998 Saatavissa: DOI 10.1108/ECAM-01-2012-0007 [Viitattu 12.7.2018]
- Jensen, P., Olofsson, T. ja Johnsson, H. (2012) Configuration through the parametrization of building components. Automation in Construction [Verkkolehti]. Vol. 23 s. 1-8. ISSN: 1872-7891 Saatavissa: DOI: 10.1016/j.autcon.2011.11.016 [Viitattu 18.6.2018]
- Jokitalo, J. (2012) Puhtaudenhallinnan kehitys sairaalarakentamisessa. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. 48 s. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/43679> [Viitattu 30.1.2018]
- Kalliokoski, P. (2011) Lääkintätilojen varmennettu sähkönjakelu. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma. 46 s. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/27479> [Viitattu 11.8.2018]
- Kiiras, J. (2001) Toteutusmuodon valinta ”Tehtävatarjotin ja toteutusmuotokortit”. Teoksessa: Rakentajain kalenteri, Helsinki: Rakennustieto Oy. s. 763-769
- Kiljunen, J.-M. (2009) Toimitustäsmällisyyden kehittäminen rakennustyömaan tuottavuuden nostamiseksi – Case Skanska Oy. Pro gradu – tutkielma. Helsingin kauppakorkeakoulu, Liiketoiminnan teknologian laitos. 90 s. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/326> [Viitattu 11.1.2018]
- Klee, L. (2015) International construction contract law. Chichester, Yhdistynyt kuningaskunta: John Wiley & Sons, Incorporated. ISBN: 978-1-118-71790-5
- Koskinen, O.-P. (2017) Townhouse-talojen kustannustehokkaat tuotantomenetelmät. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. 131 s. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/28978> [Viitattu 15.1.2018]
- Kusiak, A. (2002) Integrated product and process design: A modularity perspective. Journal of Engineering Design [Verkkolehti]. Vol. 13:3. s. 223-231. ISSN: 1466-1837 Saatavissa: DOI 10.1080/09544820110108926 [Viitattu 29.6.2018]
- Kuuttiniemi, K. ja Lehtomäki, L. (2017) Valtion hankintakäsikirja 2017. Helsinki: Valtiovarainministeriö. 334 s. ISBN: 978-952-251-879-8
- Lahdenperä, P. (2017) Yhteistoiminnalliset rakennushankeprosessit – Katsaus valittuihin ulkomaisiin toimintamalleihin ja yksilöityihin tehostamisperiaatteisiin. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 54 s. ISBN: 978-951-38-8589-2

Lahdenperä, P., Nykänen, V. ja Rintala, K. (2005) Elinkaarimallit. Tilapalveluhankkeiden vaihtoehtoiset toimintatavat. VTT Tiedotteita 2315 [Verkkodokumentti]. Espoo 2005: VTT. 56 s. ISSN: 2242-122X Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2017/T315.pdf> [Viitattu 4.8.2018]

Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista (2016/1397) Annettu Helsingissä 29.12.2016 Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161397> [Viitattu 30.7.2018]

Landström, E. (1990) Projektinjohtourakka. Helsinki: Rakennuskirja Oy. 63 s. ISBN: 951-682-205-3

Lawson, R., M. ja Ogden, R. G. (2010) Sustainability and Process Benefits of Modular Construction. Teoksessa: 8th CIB World Building Congress, Salford, Yhdistynyt kuningaskunta. 10-13.5.2010 s. 38-51.

Liu, S., S. ja Wang, C. J. (2008) Resource-constrained construction project scheduling model for profit maximization considering cash flow. Automation in Construction [Verkkolehti]. Vol. 17:8. s. 966-974. ISSN: 0926-5805 Saatavissa: DOI10.1016/j.autcon.2008.04.006 [Viitattu 30.7.2018]

Liuksiala, A. ja Stoor, P. (2014) Rakennussopimukset. 7. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy. 662 s. ISBN: 978-952-267-034-2

Love, P. ja Edwards D. (2004) Determinants of rework in Australian construction projects. Engineering, Construction and Architectural Management [Verkkolehti]. Vol. 11:4. s. 259-274. Saatavissa: DOI 10.1108/09699980410547612 [Viitattu 4.8.2018]

Lu, N. ja Korman, T. (2010) Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Modular construction: Benefits and challenges. Teoksessa: Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice, Banff, Canada. 8-10.5.2010 s. 1136-1145.

Lukka, K. (2014) Konstruktiivinen tutkimusote. Saatavissa: <https://metodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/> [Viitattu 22.3.2018]

Luoma-Halkola, L. (2017) Modular Service Concept for Hospital Retrofits. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. 94 s. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/28983> [Viitattu 10.3.2018]

Miller, T. D. ja Elgård, P. (1998) Defining Modules, Modularity and Modularization – Evolution of the Concept in a Historical Perspective. Teoksessa: Proceedings of the 13th IPS Research Seminar, Fuglsø, Tanska. 1998 19 s.

Modular Building Institute (2018) Modular Construction 2018. Saatavissa: http://www.modular.org/htmlPage.aspx?name=About_Modular_Construction [Viitattu 5.7.2018]

Mäenpää, M. (2014) Hankesuunnitteluvaiheen tietomallin LVI-nimikkeistöjen sekä algoritmimallien laatiminen. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. 123 s. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/14081> [Viitattu 14.8.2018]

Naakka, O. (2014) Sairaalarakennustyömaan logistiikka. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. 49 s. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/72437> [Viitattu 11.1.2018]

Neelamkavil, J. (2009) Automation in the prefab and modular construction industry. Teoksessa: Proceedings of the 26th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Austin, Texas, Yhdysvallat. 24-27.6.2009 s. 299-306.

Nummijoki, E. (2010) Automatic Test System for Type Tests of the Uninterruptible Power Supply. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu. 69 s. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/5209> [Viitattu 11.8.2018]

Olawale, Y. A. ja Sun, M. (2010) Cost and time control of construction projects: Inhibiting factors and mitigating measures in practice. Construction Management and Economics [Verkkolehti]. Vol. 28:5. s. 509-526. ISSN: 0144-6193 Saatavissa: DOI 10.1080/01446191003674519 [Viitattu 4.8.2018]

Olsson, N. E. O. ja Hansen, G. K. (2010) Identification of Critical Factors Affecting Flexibility in Hospital Construction Projects. Health Environments Research & Design Journal. Vol. 3:2. s. 30-47. ISSN: 1397-5687 Saatavissa: DOI 10.1177/193758671000300204 [Viitattu 22.5.2018]

Orlo, M. (2006) Rakennusteollisuuden logististen kustannusten mallintaminen ja toimintamallin valinta – Case NCC Rakennus Oy. Pro gradu – tutkielma. Helsingin Kauppakorkeakoulu, Liiketoiminnan teknologian laitos. 84 s.

Özbilgin, I. G. ja Imamoğlu, M. Y. (2011) The impact of dynamic purchasing systems in the electronic public procurement processes. Teoksessa: Procedia Computer Science, Istanbul, Turkki. 6-10.10.2010 s. 1571-1575.

Pan, W., Gibb, A. F. ja Dainty, A. R. J. (2007) Perspective of UK housebuilders on the use of offsite modern methods of construction. Construction Management and Economics [Verkkolehti]. Vol. 25:2 s. 183-194. ISSN: 1466-433X Saatavissa: DOI 10.1080/01446190600827058 [Viitattu 4.6.2018]

Peltokorpi, A., Olivieri, H., Granja, A. D. ja Seppänen, O. (2018) Categorizing modularization strategies to achieve various objectives of building investments. Construction Management and Economics [Verkkolehti]. Vol. 36:1. s. 32-48. ISSN: 1466-433X Saatavissa: DOI 10.1080/01446193.2017.1353119 [Viitattu 14.6.2018]

Peltonen, T. ja Kiiras, J. (1998) Rakennuttajan riskit eri urakkamuodoissa Helsinki: Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto, Rakennustieto 1998. 114 s. ISBN: 951-682-512-5

Pero, M., Stöblein, M. ja Cigolini, R. (2015) Linking product modularity to supply chain integration in the construction and shipbuilding industries. International Journal of Production Economics [Verkkolehti]. Vol. 170:B. s.602-615 Saatavissa: DOI 10.1016/j.ijpe.2015.05.011 [Viitattu 13.2.2018]

Rashid, M. (2011) Power electronics handbook – devices, circuits and applications. 3. painos. Burlington, Massachusetts, Yhdysvallat: Butterworth-Heinemann cop. 2011. 1374 s. ISBN: 978-0-12-382037-2

Ritvanen V., Inkiläinen, A., von Bell, A. ja Santala, J. (2011) Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Helsinki; Suomen Huolintaliikkeiden Liitto: Suomen Osto- ja Logistiikkayhdistys LOGY 2011. 252 s. ISBN: 978-952-67347-1-2

RT 03-10525 (1993) Rakennusten ja rakennusosien mittajärjestely. Rakennustieto Oy.

RT 07-11297 (2018) Sisäilmastoluokitus 2018 – Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Espoo: Rakennustieto Oy.

Said, H. (2015) Prefabrication Best Practices and Improvement Opportunities for Electrical Construction. Journal of Construction Engineering and Management [Verkkolehti]. Vol. 141:2. 13 s. ISSN: 1943-7862 Saatavissa: DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001018 [Viitattu 4.6.2018]

Sanchez, R. (2005) Product and process architectures in the management of knowledge. Teoksessa: Resources, Technology and Strategy, toimittanut Foss, N. J. ja Robertson, P. L. s. 99-120. Lontoo, Yhdistynyt kuningaskunta: Routledge. ISBN: 0-203-98225-80

SFS-EN 13348 (2016) Kupari ja kupariseokset. Saumattomat ja pyöreät kupariputket sairaalakaasuille tai alipaineelle. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 22 s.

SFS 6000-7-710 (2017) Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-710: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Lääkintätilat. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 38 s.

SFS ry, Suomen Standardoimisliitto (2018) SFS-käsikirja 1 – Avain standardien maailmaan. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto ry. 48 s. Saatavissa: https://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/hyodyllisia_aineistoja/avain_standardien_maailman [Viitattu 23.5.2018]

Sipilä, P. (2004) Sädehoito. Teoksessa: Säteilyn käyttö, toimittanut Pukkila, O. s. 183–217. Helsinki: Säteilyturvakeskus ISBN: 951-712-505-4

Siro, K. (2017) Tilamoduulien hyödyntäminen sosiaali- ja terveydenhuollon tiloissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinöörیتieteiden korkeakoulu. 77 s. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/26766> [Viitattu 11.1.2018]

Smith, R. E. (2010) Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction. Hoboken, New Jersey, Yhdysvallat: John Wiley & Sons, Incorporated. ISBN: 978-0-470-95030-2

Soini, E. (1991) Betonitekniikan osuus teollisen rakentamisen kehitysvaiheessa. Teoksessa: Betoni Suomessa 1860-1960, toimittanut Hurme, R., Häyrynen M., Penttala, V. Putkonen, L. ja Soini, E. s. 179–195. Jyväskylä: Suomen Betoniyhdistys ry. ISBN: 951-9365-48-6.

SSTY, Suomen Sairaalatekniikan yhdistys ry. (2014) Sairaalaakaasujärjestelmien suunnittelu-, asennus- ja huolto-ohje. Forssa: Suomen Sairaalatekniikan yhdistys ry. ISBN: 978-952-99770-5-5

Stevenson, W. J. (2015) Operations Management. 12. painos. New York, Yhdysvallat: McGraw Hill Education. 901 s. ISBN: 978-0-07-802410-8

- Sullivan, G., Barthorpe, S. ja Robbins, S. (2010) Managing construction logistics. Chichester, Yhdistynyt kuningaskunta: Blackwell 2010. 305 s. ISBN: 978-1-4051-5124-5
- Sun, M. ja Meng, X. (2009) Taxonomy for change causes and effects in construction projects. *International Journal of Project Management* [Verkkolehti]. Vol. 27:6. s. 560–572. ISSN: 0263-7863 Saatavissa: DOI 10.1016/j.ijproman.2008.10.005 [Viitattu 4.8.2018]
- Sutinen, Marko. 2014. Sairaala- ja asujärjestelmien suunnittelu. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu, Talotekniikan koulutusohjelma. 93 s. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/77919> [Viitattu 14.8.2018]
- Suutarla, V. (2016) Using information technology in construction on-site logistics management. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. 105 s. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/19965> [Viitattu 2.2.2018]
- Särkilähti, A. (2017) Change management during hospital construction projects – a multiple case study. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Perustieteiden korkeakoulu. 124 s. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/26706> [Viitattu 12.2.2018]
- Särkilähti, T. (2011) Tuotannon luotettavuus. Saatavissa: <http://www.lci.fi/sites/default/files/LCI11%20-%20205.%20LTT%20osana%20Skanskan%20toimintatapaa%20%28Sarkilahti%29.pdf> [Viitattu 30.7.2018]
- Talvitie, U. (2006) Työmaan materiaalitoimitusten lyhyen aikavälin ohjausmenettely. Licensiaatintyö. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. 84 s.
- Tam, V. W. Y., Tam, C. M., Zeng, S. X. ja Ng, W. C. Y. (2007) Towards adoption of pre-fabrication in construction. *Building and Environment* [Verkkolehti]. Vol. 42:10. s. 3642–3654. ISSN: 0360-1323 Saatavissa: DOI 10.1016/j.buildenv.2006.10.0030 [Viitattu 12.7.2018]
- Ulrich, K. (1995) The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research Policy* [Verkkolehti]. Vol. 24:3. s. 419–440. ISSN: 0048-7333 Saatavissa: DOI 10.1016/0048-7333(94)00775-3 [Viitattu 22.1.2018]
- Vähä, P., Heikkilä, T., Kilpeläinen, P., Järviluoma, M. ja Heikkilä, R. (2013) Survey on automation of the building construction and building products industry. Espoo: VTT. 86 s. ISBN: 978-951-38-8031-6.
- Valkama, K. (2016) Pistorasioiden käyttö lääkintätiloissa. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma. 22 s. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/111768> [Viitattu 11.8.2018]
- Valtioneuvosto, VNA (205/2009) Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205> [Viitattu 30.7.2018]
- Voordijk, H., Meijboom, B. ja de Haan, J. (2006) Modularity in supply chains: a multiple case study in the construction industry. *International Journal of Operations & Production Management* [Verkkolehti]. Vol. 26:6. s. 600–618. ISSN: 0144-3577 Saatavissa: DOI 10.1108/01443570610666966 [Viitattu 23.5.2018]

Ward, S. ja Chapman, C. (2008) Stakeholders and uncertainty management in projects. *Construction Management and Economics* [Verkkolehti]. Vol. 26:6. s. 563-577. ISSN: 0144-6193 Saatavissa: DOI 10.1080/01446190801998708 [Viitattu 12.7.2018]

Wegelius-Lehtonen, T. (2001) Performance measurement in construction logistics. *International Journal of Production Economics* [Verkkolehti]. Vol. 69:1 s. 107–116. Saatavissa: DOI 10.1016/S0925-5273(00)00034-7 [Viitattu 29.1.2018]

Yin, R. K. (1994) *Case study research - Design and Methods*. 2. painos. Thousand Oaks, California, Yhdysvallat: SAGE Publications, Incorporated. 170 s. ISBN: 0-8039-5662-2

Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C. M. ja Teizer, J. (2015) BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety Science* [Verkkolehti]. Vol. 72. s. 31-45. ISSN: 0925-7535 Saatavissa: DOI 10.1016/j.ssci.2014.08.001 [Viitattu 17.8.2018]

Ågren, R., ja Wing, R. D. (2014) Five moments in the history of industrialized building. *Construction Management and Economics* [Verkkolehti]. Vol. 32:1/2. s. 7-15 ISSN: 0144-6193 Saatavissa: DOI 10.1080/01446193.2013.825374 [Viitattu 9.4.2018]

LIITTEET

Liite 1. Tapaustutkimushaastattelun runko. 3 sivua.

Liite 2. Erillishaastattelun runko - Logistiikan IT-työkalut. 3 sivua.

Liite 3. Erillishaastattelun runko – Hankinnat. 2 sivua

Liite 1. Tapaustutkimushaastattelun runko

Tapaustutkimushaastattelun runko

Tutkijat esittelevät itsensä ja HeMoHes-hankkeen muutamalla sanalla, kertaavat haastattelun suunnitellun keston (1-1,5h) sekä pyytävät lupaa nauhoittaa haastattelu. Kun nauhuri on päällä:

HAASTATELTAVAN ESITTELY

Kerro vapaasti itsestäsi ja taustastasi. Miten ja milloin päädyit työskentelemään nykyiseen rooliisi?

Kerro omin sanoin hankkeesta, sen eri vaiheista, projektin koosta, tyypistä ja sijainnista.

Kerro omin sanoin, miten sairaalahanke poikkeaa toisista rakennusprojekteista?

A ESIVALMISTERATKAISUT JA MODULAARISUUS

1. **Onko hankkeessa käytetty esivalmisteita ja/tai moduuleja, ja jos on, niin mitä?**
2. Jos käytettiin, niin **miten ja miksi** kyseiseen ratkaisuun päädyttiin?
3. Jos ei käytetty, **oliko hankkeen alku/suunnitteluvaiheessa esillä esivalmisteratkaisu-vaihtoehtoja?**
4. Jos ei käytetty, **miksi** tiettyjä esivalmisteita/moduuleja ei valittu?
5. **Jos käytettiin esivalmisteita ja/tai moduuleja, niin minkälaisia kokemuksia näistä esivalmisteista/moduuleista on ollut?**
 - a. Mitä **positiivista** esivalmisteratkaisussa on?
 - b. Mitä **negatiivista** esivalmisteratkaisussa on?

B LOGISTIikka

1. Kerro omin sanoin hankkeen eri osapuolista, niiden rooleista ja vastuista projektissa. Kuka päättää, ja mistä?
2. Mitä sidosryhmiä hankkeella on, ja mitä reunaehdoja ne asettavat?
3. Miten sidosryhmät vuorovaikuttavat? *(Tiedon jakamisen periaatteet, miten tieto välittyy eri tekijöille? Jaetaanko tietoa muille ympärillä oleville rakennuksille eri vaiheista, ja miten?)*
4. Miten työmaalogistiikka on järjestetty?
5. Minkälaisia vaikutuksia logistiikkaratkaisulla on ollut työmaahan?
 - a. Onko ollut häiriöitä, ja jos, niin minkälaisia?
 - b. Miten logistiikkaratkaisu on edesauttanut työmaan toimintaa?
 - c. Jos esivalmisteita on käytetty, miten se on vaikuttanut työmaan logistiikkaan?
6. Minkälaisia vaikutuksia logistiikkaratkaisulla on ollut olemassa oleville rakennuksille?
 - a. Onko ollut häiriöitä, ja jos, niin minkälaisia?
 - b. Onko logistiikkaratkaisu edesauttanut olemassa olevien rakennusten toimintaa? Miten?

7. **Minkälainen hankkeen organisaatorakenne on?**

- a. **Mihin rakennuslogistiikasta vastaavat sijoittuvat organisaatiossa?**
- b. **Kuinka paljon valtaa logistiikkavastaavilla on?** Kenelle he raportoivat ja ketkä raportoivat heille? **Onko heillä oma budjetti?**

8. **Miten logistiikkavastuu jakautuu? Kuka vastaa missäkin vaiheessa ja mistä?**

- a. Mitä **logistiikkatehtäviä** on **aliurakoissa?**
- b. Minkälaisia **urakkarajoja** on **luotu logistiikkaan liittyen?**
- c. **Mistä urakkarajat käyvät ilmi?**
- d. **Miten urakan hinnoittelu on toteutettu?**

9. Mitä **vaatimuksia** on asetettu **materiaalien toimitusikkunoille?**

10. **Miten toiminnot on koordinoitu?**

11. **Miten IT:tä** käytetään toimitusten **koordinoimiseen?**

12. Onko hankkeessa **hallinnollisia haasteita**, ja jos on, niin **mitä?**

13. Onko hankkeessa ollut jotakin, **mitä olisi pitänyt huomioida**, ja jos on, niin **miten?**

HAASTATTELUN LOPUKSI:

Haluaisitko kertoa vielä jotain, mitä emme ole huomanneet kysyä?

Ketä meidän vielä kannattaisi haastatella?

Voimmeko kysyä lisätietoja tai saada mahdollista kirjallista/kuvallista materiaalia sähköpostitse myöhemmin?

Liite 2. Erillishaastattelun runko - Logistiikan IT-työkalut

Tutkimushaastattelu logistiikan IT-työkaluista

Tutkijat esittelevät itsensä ja HeMoHes-hankkeen muutamalla sanalla, kertaavat haastattelun suunnitellun keston (1-1,5h) sekä pyytävät lupaa nauhoittaa haastattelu. Kun nauhuri on päällä:

INFORMANTIN ESITTELY

Kerro vapaasti itsestäsi ja taustastasi. Miten ja milloin päädyit työskentelemään nykyiseen rooliisi?

Kerro omin sanoin, **mitä** logistiikkatyökaluja- ja **ratkaisuja olet ollut kehittämässä**, ja mistä työkaluista- ja ratkaisuista tiedät?

A RAKENTAMISEN LOGISTIikka

Rakentaminen jaetaan moneen eri vaiheeseen. **Missä vaiheessa tapahtuu mitäkin logistiikan osalta?**

Kerro omin sanoin, **miten** toteutetaan parhaiten **logistiikan johtaminen?**

Mitä **hyvää** rakentamisen **logistiikassa on?**

Millä tavoin rakentamisen logistiikkaa **voisi vielä kehittää/tehostaa?**

A1 ESIVALMISTUS & LOGISTIikka

Millaisia näkemyksiä sinulla on logistisesta näkökulmasta, ja/tai **mitä tiedät esivalmis-teista?**

Miten esivalmistus ja moduulit vaikuttavat rakentamisen logistiikkaan?

Miten moduulit vaikuttavat logistiikan suunnitteluun?

B LOGISTIIKAN IT-TYÖKALUT

B1 LOGISTIKKAKALENTERI

Miten logistiikkakalenteri **toimii**, ja miten se vaikuttaa rakentamisen logistiikkaan?

- Mitä kaikkea **informaatiota** kalenterista saa?

- Mitä **muita ominaisuuksia** kalenterissa **on**?

Millaisilla sidosryhmillä logistiikkakalenteriin on pääsy?

Millaisia näkemyksiä sinulla on siitä, miten logistiikkakalenteri **vaikuttaa** rakentamisen logistiikkaan?

- Onko logistiikkakalenterista **hyötyä**, edistääkö se työmaan sujuvuutta ja häiriöttömyyttä? Miten?

- Onko logistiikkakalenterista **haittaa**, haittaako se työmaan sujuvuutta ja häiriöttömyyttä? Miten?

Keskustelevatko **suunnitelmat ja logistiikkakalenteri** keskenään? **Miten**?

Mitä **mahdollisuuksia** ja mitä **haasteita** tämän käyttöön liittyy?

B2 TIETOMALLI JA 4D-SUUNNITTELU

Mikä on tietomalli, ja **mitä** sillä **tehdään** rakentamisen **logistiikassa**?

Miten tietomalli toimii logistiikan näkökulmasta, ja miten se vaikuttaa rakentamisen logistiikkaan?

- Minkälaista **hyötyä** tietomallista on ollut? **Edistääkö** se työmaan sujuvuutta ja häiriöttömyyttä?

- Minkälaista **haittaa** tietomallista on ollut? **Haittaako** se työmaan sujuvuutta ja häiriöttömyyttä?

Mitä **mahdollisuuksia** ja mitä **haasteita** tämän käyttöön liittyy?

LOPUKSI:

Yleisesti: Mitä voisi vielä kehittää, ja mitä haasteita on edelleen? Minkä alueen näet erityisen haastavana?

Haluaisitko kertoa vielä jotain, mitä emme ole huomanneet kysyä?

Ketä meidän vielä kannattaisi haastatella?

Voimmeko kysyä *lisätietoja* tai saada mahdollista kirjallista/kuvallista materiaalia sähköpostitse myöhemmin?

Liite 3. Erillishaastattelun runko - Hankinnat

Tutkimushaastattelu hankinnoista

Tutkijat esittelevät itsensä ja HeMoHes-hankkeen muutamalla sanalla, kertaavat haastattelun suunnitellun keston (1-1,5h) sekä pyytävät lupaa nauhoittaa haastattelu. Kun nauhuri on päällä:

INFORMANTIN ESITTELY

Kerro vapaasti itsestäsi ja taustastasi. Miten ja milloin päädyit työskentelemään nykyiseen rooliisi?

A ESIVALMISTERATKAISUT JA MODULAARISUUS

6. Mistä eri esivalmisteratkaisuista ja moduuleista sinulla on **kokemuksia**? Jos on, niin **mitä** ja **minkälaisia**?
 - a. Mitä *positiivista* esivalmisteratkaisuissa on?
 - b. Mitä *negatiivista* esivalmisteratkaisuissa on?
7. Mitkä asiat **vaikuttavat moduuleihin ja esivalmistukseen ratkaisuvaihtoehtona, yleisesti sekä hankinnan & logistiikan näkökulmasta**?
 - a. Mitkä asiat *puoltavat*? **Miten** ja **miksi**?
 - b. Mitkä asiat *vastustavat*? **Miten** ja **miksi**?
8. Kerro näkemyksistäsi, **mitä esivalmisteita ja moduuleita**
 - a. **kannattaisi käyttää, yleisesti sekä sairaalahankkeissa? Miksi?**
 - b. **ei kannattaisi käyttää, yleisesti sekä sairaalahankkeissa? Miksi?**

A1 ESIVALMISTEIDEN JA MODUULIEN HANKINTA

1. **Minkälainen on tyypillinen moduulien ja esivalmisteiden hankintaprosessi?**
Keitä toimijoita ja osapuolia liittyy missäkin vaiheessa?
2. **Miten kansainväliset toimittajat vaikuttavat hankintaprosessiin?**

3. **Miten tarjousvertailu tehdään esivalmisteiden välillä?**
 - a. **Mitä asioita huomioidaan?**
 - b. **Kuka vertailun tekee? Kuka tekee päätökset?**
4. **Miten tarjousvertailu tehdään esivalmisteiden ja paikalla rakennetun välillä?**
 - a. **Mitä asioita huomioidaan?**
 - b. **Kuka vertailun tekee? Kuka tekee päätökset?**
5. **Vaikuttaako urakkamuoto tai hanketyyppi hankintaprosessiin? Jos, niin miten?**
6. Kuinka **pitkällä suunnitelmien tulee olla harkittaessa moduuleja ratkaisuvaihtoehtona?**

B LOGISTIikka JA HANKINNAT

1. Miten **logistiikka** ja **hankinnat** kytkeytyvät rakentamisessa?
2. Mitä **yhtäläisyyksiä** ja **eroavaisuuksia** näet **perinteisen** ja **modulaarisen** rakentamisen välillä **hankinnan** sekä **logistiikan** näkökulmasta?
3. Minkälaisia asioita hankkeissa on noussut **logistiikan näkökulmasta hankintoihin?**
4. Miten esivalmisteen **logistiikka suunnitellaan?** Miten se **tulisi** suunnitella?
5. Miten esivalmisteen **logistiikka toteutetaan?** Miten se **tulisi** toteuttaa?

LOPUKSI:

Haluaisitko kertoa vielä jotain, mitä emme ole huomanneet kysyä?

Ketä meidän vielä kannattaisi haastatella?

Voimmeko kysyä lisätietoja tai saada mahdollista kirjallista/kuvallista materiaalia sähköpostitse myöhemmin?